



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

A. Francke, S. Lißner, T. Becker

Big Data im Radverkehr

Ergebnisbericht

*„Mit Smartphones generierte
Verhaltensdaten im Radverkehr“*

Impressum

Big Data im Radverkehr

Ergebnisbericht:

„Mit Smartphones generierte Verhaltensdaten im Radverkehr“

Februar 2018

Herausgeber: Technische Universität Dresden, Professur für
Verkehrsökologie und Professur für
Verkehrspsychologie

Autoren: Dipl.-Ing. Sven Lißner
Dipl.-Verk.wirtsch. Angela Francke
Dr.-Ing. Thilo Becker

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung.....	3
2. Stand der Forschung.....	4
2.1 Grundlagen der globalen Satellitennavigation.....	4
2.2 Nationaler Forschungsstand.....	5
2.3 Internationaler Forschungsstand	7
3. Festlegung konzeptioneller Grundlagen.....	9
4. Datenbezug vom App-Betreiber.....	12
4.1 Im Projektverlauf bekannt gewordene Datenquellen	13
5. Explorative Datenauswertung.....	14
5.1 Datengrundlagen und Datenaufbereitung	15
5.2 Datenformate	18
5.3 Explorative Datenanalyse am Beispiel der Pilotkommune Dresden	23
5.4 Explorative Datenanalyse am Beispiel der Stadt Chemnitz	37
5.5 Befragung der Radverkehrsverantwortlichen	43
6. Empirische Erhebungen subjektiver Bewertungs- und Einflussfaktoren zur Routenwahl und zur Bewertung von Umwegfaktoren der Fahrradfahrer	47
6.1 Fokusgruppeninterview Alltagsradfahrer.....	47
6.2 Fokusgruppeninterview Experten im Radverkehr	51
6.3 Routenwahlentscheidungen von Radfahrenden.....	56
7. Repräsentativitätsprüfung der GPS-Daten	62
7.1 Einordnung der GPS-Daten von Strava.....	62
7.2 Einordnung Map-Matching-Algorithmus.....	64
7.3 Befragung zum Nutzerverhalten.....	67

7.4	Validierung der Verkehrsmengen	77
7.5	Validierung der Geschwindigkeitswerte	92
7.6	Wartezeiten	101
7.7	Analyse der Pendlerfahrten	111
7.8	Quelle-Ziel Darstellungen	118
8.	Datenabgleich von subjektiven und objektiven Daten	121
9.	Entwicklung von Ansätzen zur Visualisierung der Ergebnisse	126
10.	Erstellung eines Anwendungsleitfadens „Smartphonebasierte Verkehrsverhaltensdaten in der Radverkehrsplanung“	128
10.1	Ergebnisse des 2. Expertenworkshops	129
10.2	Überarbeitete Gliederung des Leitfadens.....	131
11.	Fazit und Ausblick	133
	Literaturverzeichnis	136

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Konzeptioneller Projektablauf.....	11
Abbildung 2: Kanten in GIS nach Geofabrik.de	17
Abbildung 3: Kanten in GIS nach Mapzen.com	17
Abbildung 4: Beispieldatensatz SQL für Kanten des GIS-Netzes; Strava 2016	19
Abbildung 5: Knotenpunktdaten; Strava; SQL-Datenbankauszug	20
Abbildung 6: Schematische Darstellung Datensatz polygons_ride; SQL-Datenbankauszug ..	22
Abbildung 7: Modal-Split Entwicklung in Dresden	24
Abbildung 8: Grundkarte der Stadt Dresden, eigene Darstellung, OSM.....	24
Abbildung 9: Verkehrsstärken aller Strava-Nutzer, 06/2015-06,2016, eigene Darstellung	25
Abbildung 10: Als „Commute“ gekennzeichnete Fahrten der Strava-Nutzer, 06/2015-06/2016, eigene Darstellung	26
Abbildung 11: Anteil der als "Commute" markierten Fahrten an den Gesamtfahrten, 06/2015-06/2016, eigene Darstellung.....	27
Abbildung 12: Differenznetz der Radverkehrsmengen Stadt Dresden (2015 vs. 06/2015-06/2016) , eigene Darstellung.....	28
Abbildung 13: Zuwachsraten der auf Strava bezogenen Datenparameter.....	30
Abbildung 14: Durchschnittsgeschwindigkeiten von „Commute“-Fahrten gewichtet über beide Digitalisierungsrichtungen der Kanten, eigene Darstellung (Zeitraum: 05/2015-06/2016)	32
Abbildung 15: Quellverkehre der Strava-„Commute“ für die Stadt Dresden (06/2015-06/2016) , eigene Darstellung.....	34
Abbildung 16: Quellverkehre für alle Strava-Fahrten in Dresden (06/2015-06/2016), eigene Darstellung	35
Abbildung 17: Genutzte Wegerelationen am Campus der TU Dresden (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung.....	36
Abbildung 18: Verkehrsstärken aller Strava-Nutzenden in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung	37
Abbildung 19: Als „Commute“ gekennzeichnete Fahrten der Strava-Nutzenden in Chemnitz (Zeitraum 06/2015-06/2016), eigene Darstellung	38
Abbildung 20: Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Strava-Nutzenden in der Stadt Chemnitz, gewichtet über beide Digitalisierungsrichtungen der Kante (Zeitraum: 06/2015-06/2016), eigene Darstellung.....	39

Abbildung 21: Quellverkehre für alle Strava-Fahrten in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 -06/2016), eigene Darstellung	40
Abbildung 22: Quellverkehre für „Commute“-Fahrten in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung	41
Abbildung 23: Genutzte Wegerelationen Chemnitz Zentrum (Zeitraum 06/2015-06/2016), eigene Darstellung	42
Abbildung 24: Wie wichtig sind die folgenden Datenquellen für Ihre Arbeit? (Angaben absolut, N=61)	45
Abbildung 25: Welche Gründe sprechen gegen die Nutzung GPS-basierter Daten? (Mehrfachantworten möglich, N=59)	46
Abbildung 26: Bewertungsindex der allgemeinen Streckenmerkmale	58
Abbildung 27: Häufigkeit wahrgenommener Streckenmerkmal, Hauptroute	59
Abbildung 28: Häufigkeit wahrgenommener Streckenmerkmale, Alternativroute	60
Abbildung 30: Beispiel für Map-Matching I	66
Abbildung 31: Beispiel für Map-Matching II	67
Abbildung 32: Altersverteilung der Strava Nutzer für Berlin, Brandenburg, Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern, (Stand 2015)	68
Abbildung 33: Auswertung der Befragung der Strava-Nutzenden, Aktivierungshäufigkeit je Wegezweck (Stand 06/2017; n= 159)	70
Abbildung 34: Grenzentfernung Trackingnutzung (n=156)	72
Abbildung 35: Gründe für die Appnutzung im Alltag (n=156, Mehrfachantwort möglich)	72
Abbildung 36: Nutzerbefragung – Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes	72
Abbildung 36: Antwort auf die Frage nach der Verhaltensänderung bei Alltagsfahrten	74
Abbildung 37: Antwort auf die Frage nach der Verhaltensänderung bei Trainingsfahrten	75
Abbildung 38: Frage: "Nutzen Sie die Kategorisierung "Pendeln" in der App?"	76
Abbildung 39: Standorte der Dauerzählstellen in Dresden (Bildquelle: Themenstadtplan Landeshauptstadt Dresden, 2017)	79
Abbildung 40: Tagesganglinie der Dauerzählstellen in Dresden (Zeitraum: 09/2015 - 05/2016)	81
Abbildung 41: Tagesganglinien auf Basis der Strava-Daten im Untersuchungszeitraum	81
Abbildung 42 Prognose für Dauerzählstellen in Dresden auf Basis einer linearen Regression	82
Abbildung 43: Prognose für Dauerzählstellen auf Basis eines Faktors	83

Abbildung 44: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer linearen Regression	.88
Abbildung 45: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer Faktorenbildung	.....89
Abbildung 46: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer linearen Optimierung	91
Abbildung 47: Versuchsanordnung videobasierte Geschwindigkeitsmessung (eigene Darstellung)	.....93
Abbildung 48: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Hauptnetz, Elberadweg Höhe Waldschlösschenbrücke(N=316/473)	.....95
Abbildung 49: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Hauptnetz, Elberadeweg Höhe Waldschlösschenbrücke(N = 316 / 473)	.....96
Abbildung 50: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Nebennetz, Chemnitzer Straße (N=110/123)	.....97
Abbildung 51: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Nebennetz, Chemnitzer Straße (N = 110 / 123)	.....98
Abbildung 52: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Nebennetz, Grundstraße (N = 71 / 27)	99
Abbildung 53: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Nebennetz, Grundstraße (N=71/27)	.....100
Abbildung 54: Wartezeiten an Knotenpunkten in Dresden	.....103
Abbildung 55: Wartezeitenanteile Lennéplatz, Strava auf Basis Openstreetmap und GIS-Daten der Stadt Dresden	.....105
Abbildung 57: Schema für die Wartezeitenberechnung nach Strava	.....108
Abbildung 57: Absolute Darstellung der Wartezeiten am Knotenpunkt Lennéplatz, Dresden	.....109
Abbildung 58: Hypothesentestübersicht Verteilungen von Wartezeiten über Monate. Ort: Lennéplatz Dresden	.....110
Abbildung 59: Berechnungsmethodik Wegeweiten aus QZ-Matrix, Beispiel Quellverkehr Chemnitz-Kaßberg	.....114
Abbildung 60: Verteilung der Anteile Alltagsverkehr über Wegelängen	.....116
Abbildung 61: Anteil der Alltagsfahrten/Commutes auf Kanten in Dresden 01-06/2016 nach Strava Definition	.....117
Abbildung 63: Vergleich der Quellverkehre (Alltagsverkehr) mit den Einwohnerzahlen der Stadt Dresden (Quelle: Zensus 2011)	.....119
Abbildung 63: Summe der Fahrten über die Netzelemente in Dresden 06/2015-06/2016	...124
Abbildung 64: Gesamtlänge der Netzkanten nach ESKN der Pilotkommune	.....124

Abbildung 65: Fiktive Nutzungsdichte der Netzkanten durch Strava-Nutzer	125
Abbildung 66: Mögliche Visualisierung im städtischen System der Pilotkommune CARDO	127
Abbildung 67: Ursprüngliche Annahme bei Projektstart mit der Kommune als datenauswertende Institution	132
Abbildung 68: Überarbeitete Herangehensweise mit der Kommune als Auftraggeber	132

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Vergleich der Kartenanbieter	16
Tabelle 2: Bedeutung verschiedener statistischer Kennzeichen	84
Tabelle 3: Statistische Kennwerte Hauptnetz Dresden	85
Tabelle 4: Hochrechnungsfaktoren auf Basis von eigenen Kurzzeitzählungen	86
Tabelle 5: Hochrechnungsfaktoren auf Basis von sonstigen Quellen	87
Tabelle 6: Statistische Kennwerte Hauptnetz Berlin	90
Tabelle 7: Mittelwerte der Geschwindigkeiten an den untersuchten Querschnitten	95
Tabelle 8: Mittelwerte der Wartezeiten für die betrachteten Knotenpunkte	106
Tabelle 9: Wertekorrelation zwischen Fahrtbeginn und Einwohnerzahl für untersuchte Städte	120
Tabelle 10: Wertekorrelation zwischen Fahrtbeginn und Einwohnerzahl für untersuchte Städte, gefiltert	121
Tabelle 11: Kategorisierung der Infrastrukturelemente nach ESKN der Stadt Dresden	122

Glossar:

App:

Apps, oder Applikationen, beschreiben Anwendungsprogramme für Smartphones. Im vorliegenden Leitfaden liegt dabei der Fokus auf Anwendungen, die die Aufzeichnung und Speicherung von GPS-Daten ermöglichen.

Datenbanken (SQL, PostgreSQL):

Relationale Datenbanken dienen zur Datenverwaltung in Computersystemen und basieren auf einem tabellenbasierten Datenbankmodell. Structured Query Language (SQL) ist dabei eine Datenbanksprache zur Definition von Datenstrukturen und zur Bearbeitung und Abfrage von Datenbeständen. Bei PostgreSQL handelt es sich um ein freies Datenbankmanagementsystem, das weitgehend konform mit dem SQL-Standard ist. Es verfügt über eine Erweiterung zur Verwaltung von Geo-Daten (PostGIS).

Differenznetze:

Differenznetze beschreiben eine Darstellung in Geoinformationssystemen, welche den gleichen Parameter innerhalb eines Netzes, beispielsweise zu zwei unterschiedlichen Zeiten, darstellt. Diese Darstellungsform wird in der Regel genutzt um Entwicklungen zu visualisieren.

GIS:

Geographische Informationssysteme sind Informationssysteme zur Erfassung, Bearbeitung und Organisation sowie zur Analyse von Daten mit Raumbezug. So werden unter anderem auch die Daten des Straßennetzes in derartigen Informationssystemen abgelegt und gepflegt.

GIS-Element:

In einem Straßenknotennetz ist der Netzgraph durch die Elemente Knoten und Kante aufgebaut. Knoten werden dabei durch Kanten verbunden. Eine Darstellung von Verkehrsströmen benötigt einen konsistenten, lückenfreien Netzaufbau.

Den einzelnen Elementen können dabei unterschiedliche Eigenschaften wie beispielsweise zugelassene Höchstgeschwindigkeiten oder Vorfahrtsregelungen zugewiesen werden.

GPS-Daten:

GPS-Daten stehen synonym für durch das Global Positioning System (GPS) und weitere Dienste, wie GLONASS oder Galileo, erhobene Positionsdaten. Dabei wird ein globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung genutzt. Die Satelliten strahlen dabei kontinuierlich ihre Position sowie die genaue Uhrzeit aus. Das ermöglicht es, für spezielle Empfänger die Position und Geschwindigkeit zu berechnen. Die Daten beinhalten stets Angaben über Längengrad, Breitengrad und Uhrzeit. Aktuell wird eine horizontale Genauigkeit von 7,8m garantiert.

Kantendaten:

Siehe auch GIS-Element. Unter Kantendaten sind synonym alle Eigenschaften einer Kante in einem Netzgraph zusammengefasst, wie zum Beispiel die zulässige Höchstgeschwindigkeit, die Straßenklasse, das Vorhandensein von Radverkehrsanlagen oder Radverkehrsmengen.

Knotenpunktdaten:

Siehe auch GIS-Element. Unter Knotendaten sind synonym alle Eigenschaften eines Netzknotens zusammengefasst. Das können beispielsweise die Formen der kreuzenden Verkehrswege sein, oder der daraus resultierende Knotenpunkttyp. Ebenso können Wartezeiten für Verkehrsströme hinterlegt werden.

Mapmatching:

Mit Mapmatching, oder Kartenabgleich, wird ein Verfahren bezeichnet, welches die durch eine Ortung, beispielsweise via GPS, gemessene Position mit den Ortsinformationen einer Karte abgleicht. Im vorliegenden Projekt ist damit der Abgleich und die Zuordnung der GPS-Daten mit bzw. zu einem GIS-Netz gemeint.

Metro Extracts:

Produkt der Firma Strava. Es handelt sich um eine Online-Plattform für Kommunen, über die Radverkehrsmengen, Wartezeiten und weitere Angebote einzusehen sind.

MiD:

Mobilität in Deutschland ist eine bundesweite Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten der Bundesbürger. Sie findet etwa im 5-Jahresturnus statt. Die Ergebnisse der aktuellen Erhebung stehen voraussichtlich ab 2018 zur Verfügung.

MIV:

Motorisierter Individualverkehr beschreibt Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, Motorräder, Mofas oder ähnliche motorgetriebene Verkehrsmittel, die sich im Besitz einer Privatperson befinden und überwiegend der Realisierung der eigenen Mobilität dienen.

Nebennetz:

Das Nebennetz im Radverkehr beschreibt nicht zwingend das Nebenstraßennetz oder vergleichbare Klassifizierungen nach Netzkategorie, wie es für den MIV logisch erscheint, sondern Netzelemente von untergeordneter Netzbedeutung für den Radverkehr. Das können, aber müssen nicht notwendigerweise, Nebenstraßen sein.

OSM:

OpenStreetMap ist ein freies Projekt, dessen Kern eine öffentlich zugängliche Datenbank aller freien Geoinformationen ist. Aus diesen Daten können beispielsweise die im vorliegenden Projekt genutzten Landkarten erstellt werden. Die Nutzung ist dabei kostenfrei.

Point-to-Curve Matching:

Point-to-Curve-Matching beschreibt ein Verfahren der Zuordnung von gemessenen Positionsdaten zu einer Karte, in dem der kürzeste Abstand des Positionspunktes zu einer Kurve (Kante) verwendet wird.

Point-to-Point:

Siehe auch Map-Matching. Point-to-Point Matching beschreibt eine Methode des Mapmatching, bei der GPS-Datenpunkte Punkten des vorhandenen Verkehrsnetzes zugeordnet werden. Dies können für einen Netzgraphen entweder Knotenpunkte, Anfangs- oder Endpunkte von Kanten oder auch erzeugte Punkte entlang von Kanten sein.

Quelle-Ziel-Matrizen:

Quelle-Ziel-Matrizen beschreiben Parameter, die entlang einer Ortsveränderung von einer Quelle zu einem Ziel realisiert werden. Das können Verkehrsmengen unterschiedlicher Verkehrsarten oder auch zeitliche Aufwände sein.

Quelle-Ziel-Relationen:

Siehe Quelle-Ziel-Matrizen. Quelle-Ziel-Relationen beschreiben den räumlichen Zusammenhang zwischen einer Quelle (Beginn) und einem Ziel (Ende) einer Ortsveränderung. Das muss jedoch nicht notwendigerweise ein Weg sein.

Reliabilität:

Auch Zuverlässigkeit, ist ein Maß für formale Genauigkeit bzw. Verlässlichkeit von Messungen.

Repräsentativität:

Repräsentativität (einer Zufallsstichprobe) ist die Charakteristik bestimmter Datenerhebungen, die es ermöglicht, mit einer kleinen Stichprobe Aussagen über größere Mengen (Grundgesamtheit) treffen zu können. Hierbei ist es bei personenbezogenen Daten wichtig, dass die Schätzung von Alter, Bildung und Familienstand in etwa der amtlichen Statistik entsprechen.

Routendaten:

Routendaten beschreiben die Summe aller GPS-Punkte und deren entsprechenden Geschwindigkeiten in einem meist linienhaften Verlauf von einer Quelle über eine Ortsveränderung zu deren Ziel. Darüber hinaus können Routendaten auch Angaben zu Wegezwecken, der Person oder ähnlichem enthalten.

SrV:

Das System repräsentativer Verkehrsbefragungen der TU Dresden ist eine aller fünf Jahre stattfindende Verkehrserhebung im Stadtverkehr. Die letzte Feldphase fand im Jahr 2013 statt.

Städtische Geoinformationssysteme (AKTIS):

Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem wird zum Zweck der digitalen Führung der Ergebnisse der topographischen Landesaufnahmen und der amtlichen topographischen Karten von den Vermessungsämtern und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie aufgebaut.

Tagesganglinie:

Die Tagesganglinie beschreibt die Verteilung der stündlichen Verkehrsmengen eines Modus an einem Querschnitt. Dabei sind an Arbeitstagen Spitzenstunden jeweils am Morgen (ca. 7:00 – 9:00Uhr) und am Nachmittag (15:00-17:30Uhr) zu verzeichnen.

Validierung:

Die Validierung beschreibt die Prüfung der Nutzereingaben oder statistischer Daten auf die Eignung für eine bestimmte Anwendung.

Verdrängungsverkehre:

Verkehre, die durch eine Maßnahme oder ein anderes Ereignis im Straßennetz, welches den Widerstand bzw. die Reisezeit erhöht, statt auf ihrer üblichen Route über eine eigentlich schlechter geeignete oder unerwünschte Alternativroute abfließen.

Verkehrszelle:

Eine Verkehrszelle ist eine theoretische Raumeinheit, die einen Teil einer Stadt oder Siedlung verkörpert. Verkehrszellen werden vor allem als Bezugseinheit für die Modellierung verwendet. Dafür werden ihnen Daten, wie Fahrzeugbesitz, Einwohnerzahl, Arbeitsplatzzahl und weitere, zugeordnet.

Zeitscheiben:

Einteilung eines Tages in verschiedene Zeiteinheiten. Im Projekt wurden überwiegend stundenfeine Zeitscheiben genutzt.

Zusammenfassung

Für einen attraktiven Radverkehr bedarf es einer qualitativ hochwertigen Infrastruktur. Bisher liegen durch den hohen Aufwand von Vor-Ort-Erfassungen nur punktuelle Radverkehrsstärken vor. Die aktuell wohl zuverlässigsten und tauglichsten Werte liefern bisher fest installierte automatische Radverkehrszählstellen, wie sie bereits viele Kommunen eingerichtet haben. Ein Nachteil ist hierbei, dass für eine flächige Abdeckung mit einer besseren Aussagekraft für die gesamte Stadt oder Kommune die Anzahl der Erhebungspunkte meist deutlich zu gering ist. Die Bedeutung des Nebennetzes für den Radverkehr wird somit nur unvollständig erfasst. Für weitere Parameter, wie Wartezeiten, Routenwahl oder Geschwindigkeiten der Radfahrenden, fehlen dagegen meist die Daten. Perspektivisch kann diese Lücke unter anderem durch GPS-Routendaten gefüllt werden, was durch die mittlerweile sehr hohe Verbreitung von Smartphones und den entsprechenden Tracking-Apps ermöglicht wird. Die in diesem Bericht, sowie verkürzt im herausgegebenen Leitfaden, vorgestellten Erkenntnisse sind im Rahmen eines umfangreichen Forschungsprojektes zu der Nutzbarkeit von mit Smartphones generierten Nutzerdaten einer App für die kommunale Radverkehrsplanung entstanden. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans 2020 von 2015 bis 2017 gefördert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass unter Beachtung der im folgenden Bericht beschriebenen Faktoren GPS-Daten, im vorliegenden Fall exemplarisch untersucht anhand von Daten der Firma Strava Inc., mit einigen Einschränkungen für die Radverkehrsplanung nutzbar sind. Bereits heute sind damit Auswertungen möglich, die zeigen, wo, wann und wie sich Radfahrende im gesamten Netz bewegen. Die mittels Smartphone-App generierten Daten können sehr sinnvoll als Ergänzung zu bestehenden Dauerzählstellen von Kommunen genutzt werden. Berücksichtigt werden sollten bei der Auswertung und Interpretation der Daten jedoch einige Aspekte, wie der eher sportlich orientierte Kontext der erfassten Routen in den

untersuchten Beispielen. Des Weiteren werden aktuell die Daten zum Teil noch als Datenbank- oder GIS-Dateien zur Verfügung gestellt bzw. befinden sich Online-Masken zur einfacheren Nutzung im Aufbau oder einem ersten Nutzungsstadium. Die Auswertung und Interpretation erfordert also weiterhin Fachkompetenz und auch personelle Ressourcen. Der Einsatz dieser wird jedoch voraussichtlich durch die Weiterentwicklung von Web-Oberflächen und unterstützenden Auswertemasken abnehmen. Hier gilt es zukünftig, in Zusammenarbeit mit den Kommunen, die benötigten Parameter sowie die geeignetsten Aufbereitungsformen zu erarbeiten. Im Forschungsprojekt erfolgte ein Ansatz der Hochrechnung von Radverkehrsstärken aus Stichproben von GPS-Daten auf das gesamte Netz. Dieser konnte auch erfolgreich in einer weiteren Kommune verifiziert werden. Jedoch ist auch hier in Zukunft noch Forschungsbedarf vorhanden bzw. die Anpassung auf lokale Gegebenheiten notwendig.

In naher Zukunft ist es notwendig, den Praxisnachweis für die Nutzbarkeit von GPS-Daten in der kommunalen Planung zu erbringen. Vorbilder hierfür können die Städte Dresden, Leipzig oder Mainz sein, die jeweils bereits erste Schritte zur Nutzung von GPS-Daten in der Radverkehrsplanung und -förderung unternahmen. Diese Schritte sind vor dem Hintergrund der weiteren Digitalisierung von Mobilität und Verkehrsmitteln und dem damit wachsenden Datenangebot – auch trotz der bisherigen Einschränkungen der Daten – sinnvoll, um in den Verwaltungen frühzeitig entsprechende Kompetenzen aufzubauen. Langfristig bietet die Nutzung von GPS-Daten einen Mehrwert für die Radverkehrsplanung. Der aktive Einbezug von Radfahrenden eröffnet zudem neue Möglichkeiten in der Kommunikation und der Bürgerbeteiligung – auch ohne Fachwissen vorauszusetzen. Der aus dem Projekt heraus entstandene Leitfaden liefert dafür einen praxisorientierten Einstieg in das Thema und weist umfassend auf Angebote, Hindernisse und Potenziale von GPS-Daten hin. Im Endbericht des Projektes sind noch einmal umfangreich und vertieft die gesamten Erkenntnisse des Projektes zusammengetragen.

1. Einleitung

GPS-Daten, als eine Möglichkeit Bewegungen abzubilden, im Speziellen und Massendaten im Allgemeinen werden in der zukünftigen Verkehrsplanung einen steigenden Stellenwert einnehmen. Dies gründet sich vor allem auf der Annahme, dass ein hoher Anteil an Personen in Deutschland ein Smartphone besitzt¹ und dieses für die Realisierung der täglichen Mobilitätsbedürfnisse auch verwendet. Erkenntnisse aus Verkehrsbefragungen, wie SrV oder MiD, können daher potenziell zeitnah um solche aus freiwillig erhobenen Bewegungsdaten diverser App-Anbieter ergänzt und kostengünstig im Jahresrhythmus fortgeschrieben werden. Neben der Frage, mit welchen Modi welcher Wegezweck realisiert wird, lässt sich durch die fortschreitende Digitalisierung zukünftig wohl auch der genutzte Weg erkennen und visualisieren.

Erste Anbieter sehen in der Bereitschaft der Nutzerinnen und Nutzer zur Datenpreisgabe marktfähige Modelle für Datenangebote. So beispielsweise auch im Bereich der GPS-Daten im Radverkehr. Diese Entwicklung erfordert eine kritische wissenschaftliche Begleitung und eine Validierung der entstehenden Daten, um den Weg hin zu einer qualitativ hochwertigen Planungsgrundlage zu gestalten. Dies ist auch vor dem Hintergrund der bisherigen Datenverfügbarkeit in der Radverkehrsplanung essentiell. Neben Dauerzählstellen, die nur wenigen Kommunen zur Verfügung stehen, sind meist nur aufwändige Kurzzeitzählungen und Verkehrsbefragungen als Datengrundlage vorhanden. Über das Verhalten von Radfahrenden in einem komplexen Netz aus Haupt- und Nebenstraßen können so nur punktuell Aussagen getroffen werden.

Im vorliegenden Projektbericht wird daher das Datenangebot der amerikanischen Firma Strava Inc., zum Zeitpunkt des Projektstarts der größte Datenprovider für GPS-Daten von Radfahrenden am Markt, kritisch hinterleuchtet. Derlei Datensätze, die von den Normen einer statistisch sauberen Stichprobe abweichen, erfordern eine

¹ 60%, Vgl. Statista „Anzahl der Smartphonennutzer in Deutschland 2009 bis 2016“

eingehende Prüfung. Zu diesem Zweck ist es notwendig, Parameter der erwerbbaren Massendaten mit Daten aus der Empirie zu vergleichen.

2. Stand der Forschung

2.1 Grundlagen der globalen Satellitennavigation

Die initiale Literaturrecherche wurde zu Projektbeginn durchgeführt. Im Projektverlauf wurde diese jedoch fortgeschrieben und um neue Erkenntnisse erweitert. Der Begriff Global Positioning System (GPS) steht fälschlicherweise meist synonym für GNSS (Global Navigation Satellite System), welche sich in Aufbau und Funktionsweise jedoch unterscheiden. Das bekannteste und meistgenutzte GNSS ist das NAVSTAR GPS (Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System) [(Mannsfeld, 2009), S. 107]. Die Entwicklung erfolgte durch das amerikanische Verteidigungsministerium. Nach der Abschaltung der künstlichen Signalverschlechterung im Jahr 2000 lässt die nun deutlich höhere Genauigkeit eine Vielzahl von Anwendungen im zivilen Bereich zu. Weitere Systeme sind das russische GLONASS, das europäische Galileo-System und das chinesische Beidou. Das grundlegende Ziel von GPS ist der Gewinn von Positions- und Geschwindigkeitsinformationen von Objekten in Ruhe und Bewegung. Das Ortungsprinzip basiert dabei auf der Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und mehreren Satelliten mittels der Signallaufzeiten und Trägerphasendifferenzen. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung liegt im Durchschnitt bei 30m über die Signallaufzeit und bei 3cm über Trägerphasendifferenzen bezogen auf Positionsfehler mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% (Mannsfeld, 2009).

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist von einer Reihe möglicher Fehler abhängig. Diese werden unterschieden in Nutzer-Streckenfehler, Signalausbreitungsfehler und Empfängerfehler. Die erste Gruppe umfasst dabei Ungenauigkeiten bei den Positionen der Satelliten und deren Uhren. Diese werden durch natürliche Phänomene, wie die Gravitationskraft, hervorgerufen.

Signalausbreitungsfehler umfassen alle Faktoren, die Einfluss auf den Weg des Signals vom Satelliten zum Empfänger haben. In diese Gruppe sind auch Reflexionen und Signalbeugungen an Gebäudewänden einzuordnen. Die letzte Gruppe umfasst die Fehler, die durch die Hardware des Empfängergerätes verursacht werden. Die zu erwartende Genauigkeit liegt dabei zwischen 8-10m (Bauer, 2011). Im Folgenden soll der besseren Lesbarkeit halber GPS-Daten stellvertretend für alle Formen von mit einem Smartphone generierten satellitengestützten Daten stehen.

2.2 Nationaler Forschungsstand

Der Beginn intensiver Forschungsarbeiten zum Thema im Bereich der Verkehrswissenschaften liegt nicht zufällig in den Jahren nach 2000 (vgl. Absatz 2.1). Ab diesem Zeitpunkt erlaubte die höhere Genauigkeit auch belastbare Aussagen im Bereich der Verkehrsplanung. Eine der ersten Untersuchungen, die auch den Radverkehr betreffen, datiert auf das Jahr 2003. Mit Hilfe von GPS-verorteten Kameradaten von Verfolgungsfahrten wurde der Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit der Radfahrenden und den Rahmenbedingungen auf 20 Radverkehrsanlagen untersucht (Falkenberg, et al., Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten, 2003). Hier konnte aus technischen Gründen jedoch noch nicht dem Anspruch genüge getan werden, das Verhalten größerer Nutzergruppen abzubilden. Zu diesem Zeitpunkt war die Nutzung der Technologie aufgrund der relativ hohen Preise für Empfänger und deren geringen technischen Möglichkeiten noch stark eingeschränkt. Die Erhebung von Massendaten wurde durch notwendige Mitführung eines separaten Empfängers, anfangs auch von nicht zu vernachlässigender Größe, sowie die vorerst nur manuelle Datenübertragung erschwert.

Einen Wendepunkt diesbezüglicher Anstrengungen stellt die massenhafte Verbreitung von Smartphones als kostengünstige GPS-Empfänger mit der Einführung des iPhones im Jahr 2007 dar. Innerhalb kurzer Zeit stieg die Anzahl der Modelle und der Preis sank, was zu einem starken Anstieg im Besitz derartiger Mobilgeräte führte. Da diese sowohl als GPS-Empfänger fungieren, als auch die

Datenübertragung auf Server via WLAN oder Datennetz ermöglichen, können sie als kostengünstige Erfassungsgeräte für die Verkehrsforschung und -planung genutzt werden.

Dies markiert auch den Beginn der neueren Forschung zum Thema GPS-Daten in der (Rad-) Verkehrsplanung. So untersuchten Buck und Fischer im Jahr 2010 den kombinierten Einsatz von RFID/GPS-Technologien im Tourismus, insbesondere beim Routing im Radverkehr (Buck & Fischer, 2010/2011). Dieser Ansatz steht stellvertretend für eine Reihe (auch internationaler) Projekte, bei denen der Fokus auf dem Routing von Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern lag. Wie auch bei einigen Ansätzen im Zuge der Modellierung von Routenwahl im Radverkehr ist die Anzahl der Probandinnen und Probanden eher gering. Es kann also an dieser Stelle noch nicht von Massendaten gesprochen werden. Ähnlich wie auch im Projekt EmoCycling zum Thema emotionaler Stress von Radfahrenden hat hier die Aufzeichnung von Wegen einen eher dienenden Charakter und lässt wenig Schlüsse über das Verhalten von Radfahrenden im Netz zu.

Im Jahr 2014 fassten Schelewsky et al. die Potentiale von smartphone-gestützter Datenerhebung in der Mobilitätsforschung zusammen. Sie führen unter anderem die gute Abdeckung in der Bevölkerung und die hohe Mitführungsquote als zentrale Erfolgsfaktoren an. Vor allem die Möglichkeit differenzierte Nutzungsmuster im Verkehrsverhalten zu erheben, wird im Vergleich mit bisherigen Erhebungsmethoden herausgestellt. Dies liegt beispielsweise in der vergleichsweise einfachen Verkehrsmittelerkennung begründet (Schelewsky, Jonuschat, Bock, & Stephan, 2014).

Praxisbeispiele, und das verdeutlichen auch die Ergebnisse der Literaturrecherche, sind im deutschsprachigen Raum bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht in größerem Umfang vorhanden. Das ändert sich mit der Arbeit von Kopp (2015) ein Jahr später. Hier wurde zur Evaluation des Mobilitätsverhaltens von 200 Car-Sharing-Nutzern ein GPS-gestütztes Wegetagebuch verwendet. Im Zuge der Studie wurden die Personenmerkmale der Probandinnen und Probanden mit den zurückgelegten Wegen verknüpft und anschließend das Verkehrsverhalten im Zuge der Car-Sharing-

Nutzung ausgewertet. Dabei wurden unter anderem Raumstrukturmerkmale einbezogen (Kopp, 2015). In den vergangenen Jahren wurde die Projektlandschaft zunehmend vielfältiger. So befassten sich auch die Projekte „WiMobil“ (BMW AG; DLR; DB Rent GmbH, 2016) und Radspurenleser (Howe, Graff, & Damrau, 2016) mit der Methodik der GPS-gestützten Mobilitätserhebung.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Anzahl der Studien zum Thema GPS-Daten in der Verkehrsforschung im deutschen Raum bisher eher den Charakter punktueller Untersuchungen mit bekannten, meist auch sehr kleinen Stichproben hat. Untersuchungen mit Stichproben von mehr als 1.000 Nutzerinnen und Nutzern sind bis dato nicht bekannt.

2.3 Internationaler Forschungsstand

Erste Untersuchungen zum Thema GPS-Daten in der Verkehrsforschung fanden bereits im Jahr 1996 statt. Im Rahmen des *Lexington area travel data collection test* wurden GPS-Empfänger fest in Fahrzeugen verbaut. Diese erste Studie war gleichzeitig ein erfolgreicher Test des Konzeptes der GPS-Datenerhebung. Einen weiteren Meilenstein markiert die Arbeit von Axhausen und Schüssler (2008), die erhobene Bewegungsdaten aus dem Jahr 2004 aus den Städten Zürich, Winterthur und Genf von rund 4.900 Teilnehmerinnen und Teilnehmern auswerteten. Die Probandinnen und Probanden wurden für etwa eine Woche mit tragbaren GPS-Loggern ausgestattet. Der Datensatz umfasste folglich circa 32.000 Tage an Bewegungsdaten. Weitere Daten hinsichtlich der Probandinnen und Probanden waren nicht verfügbar. Im Zuge der Studie wurden Algorithmen zur Verkehrsmittelerkennung (weiter-) entwickelt und die Ergebnisse mit den Daten des Mikrozensus von 2005 verglichen (Schüssler & Axhausen, 2008). Der verwendete Datensatz bewegt sich erstmals im Bereich wirklich großer Datenmengen und bezieht alle Verkehrsmittel ein. Er hat jedoch – ähnlich wie der im vorliegenden Projekt genutzte – keinen Anspruch auf vollständige Repräsentativität.

Im gleichen Zeitraum untersuchten Krizek und Harvey (2007) in Minnesota, USA, ein Kollektiv von 51 Radfahrenden, welches nach Alter, Geschlecht und Ort der Arbeits-

bzw. Wohnstätte ausgewählt wurden. Hierbei wurden 938 Wege von Pendlerinnen und Pendlern aufgezeichnet und deren Routenwahlverhalten mit dem Ziel einer Modellbildung untersucht (Krizek & Harvey, 2007).

Diese beiden Studien verdeutlichen abermals die unterschiedlichen Ansätze der bisherigen Studien. Es kann klar unterteilt werden in wissenschaftliche Ansätze mit bekannten, kleinen Stichproben und die explorative Analyse großer Datenkollektive ohne tiefergehendes Wissen über die Probandinnen und Probanden.

Eine weitere Studie der ersten Kategorie ist der Ansatz von Broach, Dill und Gliebe (2012), die ebenfalls ein Routenwahlmodell für Radfahrende aus einem Datenkollektiv von 164 Personen mit 1.449 Wegen in Portland, USA, erstellt haben. Die Teilnehmenden waren jedoch etwas älter, hatten ein höheres Einkommen und einen höheren Bildungsstand als der Durchschnitt der Bevölkerung. Die Daten hierfür wurden mit Datenloggern aufgenommen und anschließend aufbereitet und mit Informationen zu Steigungen und Verkehrsmengen des MIV angereichert. Broach et al. (2012) definierten dabei den Begriff „Commute“ als Wege vom Wohnort zum Arbeitsort und umgekehrt. Die durchschnittliche Wegelänge betrug 6km für Arbeitswege und 3,5km für andere, mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 19 bzw. 16,1km/h (Broach, Dill, & Gliebe, 2012).

Ein weiterer Ansatz ist eher in die zweite Kategorie einzuordnen: Carlton, Sall und Schwartz untersuchten 2011 in San Francisco, USA, mehr als 7.000 Wege, die mit der eigens entwickelten App „CycleTracks“ aufgenommen wurden. Hierbei war es optional möglich demographische Daten anzugeben. Es konnte eine Verzerrung hin zu häufig fahrenden, männlichen Radfahrenden festgestellt werden. Das Durchschnittsalter betrug 34 Jahre und 79% der Probanden waren männlich. Nach dem Postprocessing der Daten blieben rund 5.200 Fahrten übrig, die nach einer Überprüfung auf die Moduswahl nach Axhausen nochmals auf 2.777 Fahrten reduziert wurden. Auch in dieser Studie stand das Routenwahlverhalten mit Ziel einer Modellbildung im Vordergrund (Charlton, Sall, Schwartz, & Hood, 2011).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Forschungsstand zum Thema international deutlich breiter aufgestellt ist. Es kann auf die Ergebnisse einer Reihe von Studien zum Thema zurückgegriffen werden, wobei einzig Axhausen und Schüssler (2008) einen ähnlichen Datensatz, wie im Projekt genutzt, aufweisen konnten.

3. Festlegung konzeptioneller Grundlagen

Im ersten Projektarbeitsschritt wurden im Zuge der Antragsstellung die konzeptionellen Grundlagen der Arbeit gelegt. Dazu erfolgte unter anderem eine Literaturrecherche (s.o.) zum aktuellen nationalen und internationalen Stand der Forschung zum Thema.

Der Fokus dieser Studie sollte dabei nach Vorbild von Axhausen und Schüssler (2008) nicht auf dem Erzeugen eigener Daten liegen, sondern eher in der Bewertung bestehender Datenangebote. Initialer Moment war dabei das bestehende Angebot an Daten der Firma Strava Inc. Vor dem Hintergrund der mangelhaften Datenlage für den Radverkehr sollte die Verwendbarkeit der angebotenen Daten für die Radverkehrsplanung in den deutschen Kommunen evaluiert werden. Die genutzte Methodik orientiert sich stark an den Bedürfnissen der Verwaltung – es wird also bei allen Zwischenschritten von Bereitstellung der Netzgrundlage über Datenbezug, bis hin zur Datenauswertung nah am durch Städte leistbaren Arbeitsumfang agiert, ohne dabei die Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens aus den Augen zu verlieren.

Basierend auf der Recherche bestehender Angebote, nationaler und internationaler Literatur und Gesprächen mit kommunalen Aufgabenträgern wurde ein Lastenheft für die zu beziehenden GPS-Radverkehrsdaten erarbeitet. Dieses enthält die folgenden Minimalparameter:

- Radverkehrsstärke,
- Geschwindigkeiten der Radfahrenden,

- Sozio-demografische Angaben zu den Nutzerinnen und Nutzern der App,
- Wartezeiten an Knotenpunkten,
- Quelle-Ziel-Matrizen,
- Möglichkeit zu einer Aufteilung der Daten in Zeitscheiben, um Ganglinien anhand von Pegelzählstellen vergleichen zu können.

Diese Parameter orientieren sich überwiegend an den Anforderungen kommunaler Verwaltungen. Diese können aufgrund mangelnder personeller oder fachlicher Kompetenzen nicht alle Aufgaben ab der Primärdatenerzeugung übernehmen und sind daher auf vorgefertigte Items angewiesen. Die ausgewählten Parameter repräsentieren die wichtigsten „user-stories“, die im verkehrsplanerischen Kontext als sinnvoll einzustufen sind.

Das Vorhandensein der Minimalparameter wurde als Kernkriterium für die Anbietersauswahl festgelegt. Die zweite Auswahlstufe betraf die flächenhafte Ausdehnung der GPS-Daten. Im Zweifelsfall sollte als drittes Kriterium die „Nutzerzahl“ vor dem Kriterium „Preis“ den Ausschlag für eine Wahlentscheidung geben.

Des Weiteren wurden in der Vorauswahl erste Grundlagen für das benötigte Basis-GIS-Netz aus Knoten und Kanten getroffen. Genauer handelt es sich dabei um eine Analyse der zur Verfügung stehenden GIS-Netze von Städten, unter anderem der Pilotkommune Dresden, sowie der frei verfügbaren Grundlage aus OpenStreetMap (OSM). Hierbei ging es in erster Linie um die Analyse der Datenstruktur und das Erarbeiten eines sinnvollen Basislayers für das anschließende Mapmatching der Radverkehrsdaten auf diesen. Als besondere Problemstellung erwiesen sich dabei der langwierige Datenbezug in der Pilotkommune sowie der häufig existierende Fall mehrerer paralleler Kanten in der frei zugänglichen Datengrundlage von OSM.

Diese können im Zweifel beim Mapmatching der auf 10m genauen GPS-Daten zu einer Aufteilung der Radfahrenden innerhalb einer Relation zwischen zwei Knoten auf mehreren Kanten führen. Die Folge ist eine Verzerrung der Darstellung der

Radverkehrsstärke in anschließenden grafischen Aufbereitungen. Dieser Sachverhalt konnte durch eine umfangreiche Nachbearbeitung des OSM-Datensatzes zumindest eingedämmt werden.

Im Anschluss erfolgte der Datenbezug (detailliert beschrieben in Kapitel 3). Nach erfolgtem Datenbezug wurden die Daten in eine PostgreSQL-Datenbank eingelesen. Zum einen machte die Datenmenge die Nutzung von Alternativen wie ACCESS unattraktiv, zum anderen bietet der PostGIS-Aufsatz der PostgreSQL-Datenbank die Möglichkeit, Auswertungen direkt in Geoinformationsprogramme, wie ArcGIS oder QGIS, zu übernehmen und zu visualisieren. Direkt an die Übernahme in die Datenbank angeschlossen war die Validierung der Daten, die wie in Abbildung 1 ersichtlich, zweistufig realisiert wurde.

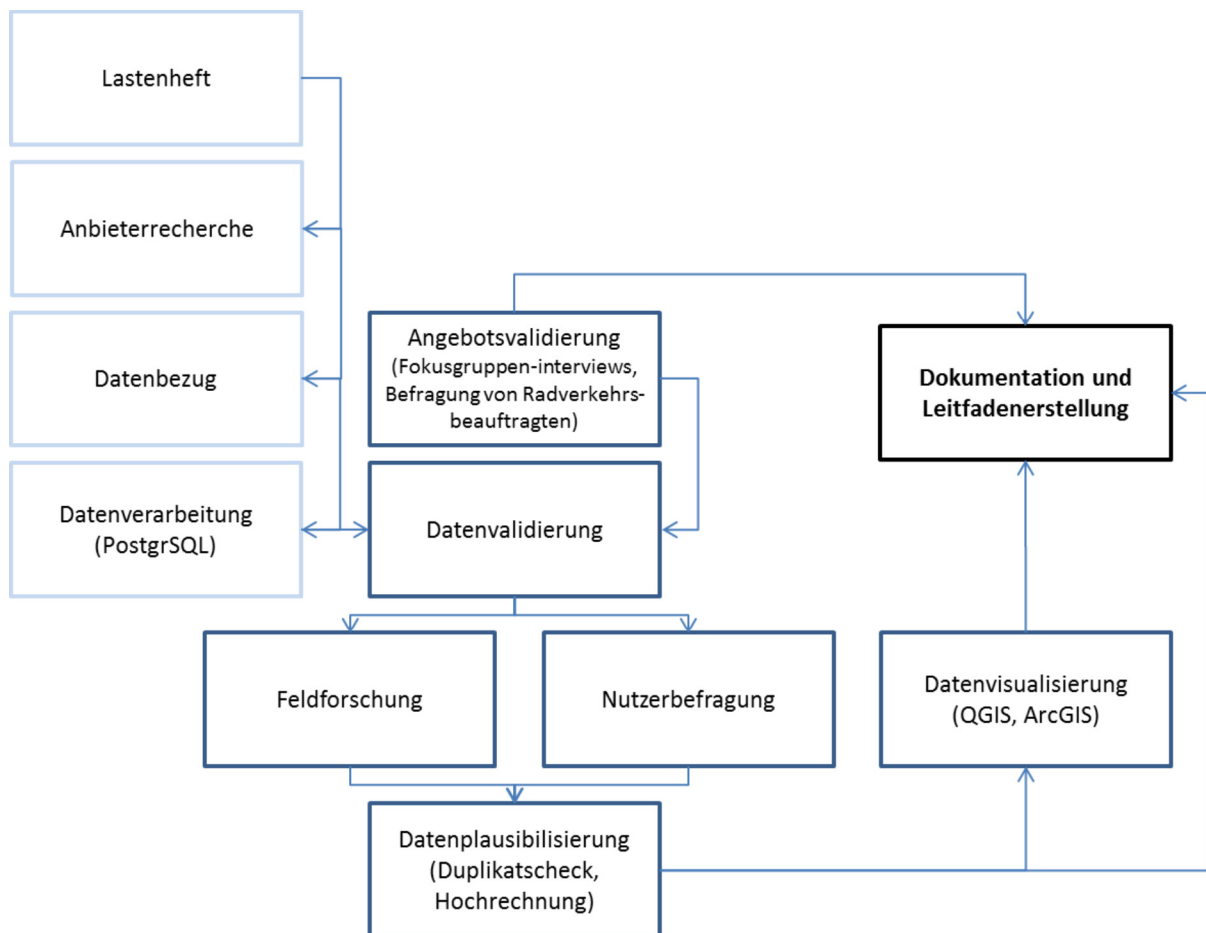


Abbildung 1: Konzeptioneller Projektablauf

Es wurden zudem im Projektverlauf Verkehrsdaten, wie Geschwindigkeiten, Wartezeiten oder Verkehrsstärken, in Feldexperimenten nacherhoben, um das Datenkollektiv in ein Verhältnis zur empirischen Realität der Grundgesamtheit zu setzen. Weiterhin wurden die App-Nutzerinnen und -Nutzer befragt, inwieweit sich die Nutzung der App auf ihr Radverkehrsverhalten auswirkt (siehe Kapitel 6).

Die einzelnen Ergebnisse und Zwischenergebnisse wurden anschließend mehrfach visualisiert und flossen in die Erstellung des Nutzerleitfadens mit ein (siehe Kapitel 10).

4. Datenbezug vom App-Betreiber

Für den Bezug der benötigten GPS-Daten von Radfahrenden wurden zunächst alle zum Zeitpunkt des Projektstarts bekannten, marktrelevanten App-Anbieter angefragt. Darunter befanden sich die folgenden Firmen:

- Endomondo and VP International, Connected Fitness
- runtastic GmbH
- BikeCityGuide Apps GmbH
- Strava Inc.
- Komoot GmbH
- Abvio Inc.

Aus dem angefragten Kreis gab es nur von den Firmen Strava Inc. und BikeCityGuide Apps GmbH positive Rückmeldungen bezüglich einer generellen Bereitschaft zur Herausgabe von Nutzerdaten.

Lediglich die Daten der Firma Strava Inc. entsprachen zum damaligen Zeitpunkt in Umfang und Güte den im Lastenheft erarbeiteten Ansprüchen. Demzufolge wurde der Datenbezug über die Technische Universität Dresden in Auftrag gegeben und in 02/2016 finalisiert. Es konnten in einer ersten Stufe Daten für den Zeitraum 10/2014 bis 12/2015 für die Bundesländer Sachsen, Berlin und Brandenburg bezogen werden. Eine weitere Datenlieferung erfolgte im Juni 2016 für den Zeitraum 01/2016 bis 06/2016. Zum Zeitpunkt des Projektendes erfüllen auch die Daten der Anbieter

BikeCitizens und Naviki die Minimalparameter und wären demnach ebenfalls für derartige Auswertungen geeignet.

Für den Datenbezug wurden Vorabauswertungen vereinbart. Diese betrafen vor allem die Auflösung der Daten in die durch den Auftraggeber gewünschten Zeitscheiben, sowie die Unterscheidung in Werte für die Wochentage und für das Wochenende.

Im weiteren Projektverlauf kam es zu einer unentgeltlichen Nachlieferung weiterer Daten durch die Firma Strava Inc. Diese betrafen den Zeitraum 07/2015 bis 06/2016. Innerhalb der zwei realisierten Tranchen wurden vereinbarungsgemäß folgende Datensätze übergeben:

- Netzgraph mit Index (jeweils Kantengraph und Knotengraph),
- Nodes_Ride_Data (Minutendaten aller Knoten),
- Edges_Ride_Data (Minutendaten aller Kanten),
- Nodes_Ride_rollups (monatsfein, Werkstage und Wochenenden, Jahreszeiten),
- Edges_Ride_rollups (monatsfein, Werkstage und Wochenenden, Jahreszeiten),
- Demografische Daten,
- Edges_Polygons_data (Polygondaten mit QZG-Werten),
- Edges_ride_total (Kantendaten für den gesamten Zeitraum, ungefiltert),
- Nodes_ride_total (Knotendaten für den gesamten Zeitraum, ungefiltert).

Das Datenpaket der unentgeltlichen Nachlieferung wurde jedoch auf alleinige Initiative des Anbieters auf einen anderen Netzgraphen projiziert. Dieses Vorgehen führte im weiteren Verlauf zu Komplikationen bei der Vergleichbarkeit der Daten beider Zeitscheiben, da sich die Zuordnung des Index für Knoten und Kanten veränderte.

4.1 Im Projektverlauf bekannt gewordene Datenquellen

Im Projektverlauf wurde eine Reihe weitere Lösungen für die Datenerhebung auf kommunaler Ebene bekannt. Zu nennen ist dabei beispielsweise die App zur „Radwende“ der Agentur Scholz & Volkmer in den Städten Mainz und Wiesbaden.

Diese steht eher stellvertretend für eine stark lokal eingefärbte Lösung. Derartige Lösungen sind per se aufgrund ihrer als schwierig einzuschätzenden Skalierbarkeit weniger gut geeignet, im globalen Stil Daten zu sammeln und aufzubereiten. Jedoch ist aufgrund der ausgezeichneten medialen Begleitung während der Erhebungsphase hier ein Blick auf die Daten, oder vielmehr die Datenerhebung und Kommunikation, sinnvoll.

Das Modell basiert auf der Zusammenarbeit der Stadtverwaltungen mit der Kreativagentur Scholz & Volkmer. Ziel war es den städtischen Radverkehr sichtbar zu machen. Dafür wurde zum einen die App durch die Agentur zur Verfügung gestellt und diese zum anderen durch eine intensive mediale Begleitung gefördert. Hierbei wurden unter anderem die aufgezeichneten Radrouten im Zuge einer Live-Heatmap an öffentlichen Orten zur Kunstform erhoben und visualisiert. Dies geschah vor allem im Zusammenhang mit Akteuren der lokalen Kultur, wie beispielsweise dem Staatstheater Mainz. So konnte ganz gezielt eine ansonsten für die Appnutzung eher weniger affine Zielgruppe angesprochen werden. Zusätzlich wurden durch die Stadt Mainz für Meilensteine an gefahrenen Kilometern Maßnahmen für den Radverkehr durchgeführt. Zusätzlich gab es Anreize in Form von Vergünstigungen bei einer gewissen Fahrtweite durch den lokalen Einzelhandel.

Insgesamt hatte die Kampagne eine sehr starke Außenwirkung, auch durch die starke Visualisierung der Radverkehrsströme. Die Auswertung der Daten fand bisher jedoch nicht auf einem höheren Niveau als der Erstellung einer Heatmap statt. Insgesamt wurden in beiden Städten 93.000km und ca. 16.000 Fahrten von den Nutzern aufgezeichnet. Dies kann als klarer Erfolg des Konzeptes gewertet werden. Die Daten standen zu Beginn des vorliegenden Projektes jedoch leider nicht zur Verfügung.

5. Explorative Datenauswertung

Direkt im Anschluss an den Datenbezug erfolgte eine erste, explorative Auswertung der gelieferten Daten. Dabei wurden vor allem Datenformate und verwendete Parameter geprüft. Vorgelagert erfolgte nach der Entscheidung zum Kauf der Daten

eine Auswahl und Aufbereitung der für das Mapmatching zu verwendenden Netzgrundlage.

5.1 Datengrundlagen und Datenaufbereitung

Die von dem App-Anbieter Strava Inc. erworbenen Daten basieren, wie eingangs erwähnt, auf GPS-Punkten, die zu Analysezwecken einem GIS-basierten Wegenetz zugeordnet werden. Auf den Servern der Firma liegen zunächst alle GPS-Positionen mit einem Nutzer-, Zeit- und Fahrtstempel vor. Diese werden von Strava einem Wegenetz mittels eines Mapmatching-Algorithmus zugeordnet. Der verwendete Algorithmus ist nicht bekannt. Da zu einem späteren Zeitpunkt der Auswertung jedoch eine hohe Anzahl an Duplikaten in Bereichen hoher Netzkantendichte festgestellt wurde, ist davon auszugehen, dass es sich um einen einfachen Point-to-Point oder Point-to-Curve Ansatz handelt, der nur wenig komplexe Adjazenzbedingungen verwendet. Das Wegenetz kann frei vom Datenkunden gewählt werden und wird von diesem zur Verfügung gestellt. Alternativ ist es möglich auf ein bereitgestelltes OSM-basiertes Wegenetz zuzugreifen. Zunächst musste somit geklärt werden, welches Netz für das Mapmatching übermittelt wird und somit auch Grundlage der späteren Analyse ist.

In der initialen Phase des Projektes wurde entschieden, zwei unterschiedliche Wegenetze als Grundlage für das Mapmatching zu verwenden. Zum einen OpenStreetMap, um die überregionale Vergleichbarkeit innerhalb der drei Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Berlin zu gewährleisten. Auch ist davon auszugehen, dass gerade kleinere Kommunen entweder kein, oder ein nur wenig detailliertes eigenes Netz zur Verfügung stehen haben. Zum anderen wurde für die Pilotkommune Dresden das von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellte erweiterte Straßenknotennetz (ESKN) genutzt, welches an ATKIS angebunden ist und diverse Zusatzinformationen über die Infrastruktur enthält. Zudem bietet dieses Vorgehen die Möglichkeit, dass die Stadtverwaltung der Pilotkommune die im Projekt erstellten Visualisierungen zu einem späteren Zeitpunkt für eigene Planungszwecke verwenden kann.

Das Netz der Stadt Dresden war dabei ohne umfangreiche Weiterverarbeitung verwendbar, da jeder Verkehrsweg aus einer Kante mit diversen Attributen wie Radverkehrsinfrastruktur, Fahrstreifenanzahl oder zulässiger Geschwindigkeit besteht. Die Gefahr von Duplikaten im Zuge des Mapmatching sinkt dadurch beträchtlich.

Komplexer gestaltete sich die Verwendung der OSM-Karte. Um eine Datengrundlage für das Mapmatching auf Basis von OSM bereitstellen zu können, musste ein geeignetes Wegenetz zusammengestellt werden. Dafür wurden im ersten Schritt Wegenetze mit möglichst vollständigen Datensätzen von OSM verwendet. Diese wurden in Form von Metro-Extracts von der Seite mapzen.com exportiert. Die Kartenexporte von mapzen.com sind in ihrer Vollständigkeit sehr nah an den Rohdaten von OSM, haben jedoch gegenüber dem Export über JSOM den Vorteil, schon regional begrenzt zu sein. Verschiedene Kanten, wie Straßen, ÖPNV-Linienverläufe oder Verwaltungsgrenzen, liegen zudem exakt übereinander.

Tabelle 1: Vergleich der Kartenanbieter

Anbieter	Vorteile	Nachteile
Openstreetmap.org	Umfangreiche Datensätze	Nur Export kleinerer Ausschnitte via JSOM mit niedrigem Aufwand möglich
Mapzen.com	Umfangreiche Datensätze	Nur Export von ausgewählten Städten möglich
Geofabrik.de	Reduzierte Kantenmenge	Eingeschränkter Datenumfang

Wenn Kanten übereinander oder räumlich sehr dicht parallel zueinander verlaufen besteht die Gefahr, dass die zugeordneten Fahrten zwischen den Kanten springen. Außerdem wird bei der Auswertung der Daten die Analyse von Querschnitten erschwert. Um dies zu vermeiden wurde versucht die Kanten so zu filtern, dass jede Verbindung zwischen zwei Punkten nur durch eine eindeutige Kante dargestellt wird. Gleichzeitig sollte vermieden werden, dass Wege gar nicht mehr durch eine Kante repräsentiert werden. Diese Gefahr bestand beispielsweise bei eigenständigen Rad-

und Fußwegen, die für den Langsamverkehr eine große Bedeutung als Lückenschluss im Netz besitzen. Auch wurden Kanten entfernt, die nicht für Fahrräder zugelassen oder durch diese befahrbar sind, um Fehlzugeordnungen zu vermeiden. Der verwendete Filter wurde über die Definitionsabfrage in ArcGIS erarbeitet.

Nach weiteren Tests mit dem so generierten Wegenetz konnten die Vor- und Nachteile von diesem offengelegt werden. So hat das Netz zwar einen hohen Informationsgehalt, aber bei der erstmaligen Zuweisung von Verkehr auf die jeweiligen Kanten konnte es noch immer zu Konflikten kommen. Als Konsequenz fiel die Entscheidung für den Wegenetzexport des Anbieters *geofabrik.de*. Dieses Netz ist schon von Beginn an so vereinfacht, dass es meistens jeweils nur eine Kante pro Weg enthält, was aber mit einem Informationsverlust einhergeht. Auf Basis der Variable „OSM-ID“, welche bei beiden Netzen identisch ist, können die fehlenden Informationen zu einem späteren Zeitpunkt wieder angefügt werden.



Abbildung 2: Kanten in GIS nach Geofabrik.de



Abbildung 3: Kanten in GIS nach Mapzen.com

Vorerst ungelöst bleiben bei der OSM-Netzgrundlage Kanten, bei denen beispielsweise Fahrradwege sehr nah und parallel an Kanten des Straßennetzes entlang verlaufen. Dort kann aufgrund der Ungenauigkeit von GPS-Daten in der Praxis nicht zweifelsfrei unterschieden werden, ob die Kfz-Fahrbahn oder die Radverkehrsanlage genutzt worden ist. Mögliche fehlerhaft oder doppelte

Zuordnungen sind überwiegend durch ungenaue GPS-Positionsdaten verursacht. Hier sind zukünftig weitere Untersuchungen notwendig, um adäquate Lösungen zu finden. Vor allem aber ist die Verwendung von fortgeschrittenen Algorithmen für das Mapmatching durch den Datenanbieter zu gewährleisten.

Insgesamt stellte sich heraus, dass allein die Auswahl der Kartengrundlage ein immens wichtiger Schritt bei der Nutzung der Strava-Daten darstellt. Mit einer ungeeigneten Kartengrundlage besteht die Gefahr, dass die eigentlichen Radverkehrsdaten nicht nutzbar sind. Somit sind im Praxisleitfaden unbedingt Hinweise für die ansonsten sehr gut geeignete OSM-Kartengrundlage zu formulieren.

5.2 Datenformate

Die im vorliegenden Projekt betrachteten Daten der Firma Strava liegen in zwei Datenpaketen vor. Es handelt sich dabei um einen Datensatz, der auf die Kanten des initialen GIS-Netzes referenziert, und einen zweiten, der mit den Knoten verknüpft ist. Dies geschieht über eine einfache Indizierung der jeweiligen Datensätze. Die Daten liegen ausschließlich bezogen auf die jeweiligen Netzelemente vor. Zusammenhängende Routen sind daraus, um dem Datenschutz gerecht zu werden, nicht trivial ableitbar. Aus diesen Grunddaten können nach Wunsch des Käufers unterschiedliche, „Roll-up“ genannte, Aggregationsformen erzeugt werden. Diese werden meist nach Monaten, Tageszeiten oder Jahreszeiten angeboten. Beispielsweise können anhand der Zeitstempel alle Daten der Monate Januar bis März eines Jahres aggregiert werden.

Netzkantendaten

Hierbei ist, wie in Abbildung 4 dargestellt, die Edge-ID eindeutig referenziert auf die Indizes der Kanten im zugrunde liegenden GIS-Netz. Die weiteren Spalten des Beispieldatensatzes beinhalten neben dem Zeitstempel die Anzahl der Nutzer, der Aktivitäten und die benötigte Zeit.

	edge_id integer	year integer	day integer	hour integer	minute integer	athlete_count integer	rev_athlete_count integer	activity_count integer	rev_activity_count integer	total_activity_count integer	activity_time double precision	rev_activity_time double precision	commute_count integer
1	6291272	2014	305	13	53	1	0	1	0	1	3.34325994805218		0
2	6291300	2015	169	18	34	1	0	1	0	1	1.16634166515055		0
3	9749260	2015	316	15	30	1	0	1	0	1	1.23008924058472		0
4	8582488	2014	305	12	51	0	1	0	1	1		1.41511103287362	0
5	9749263	2015	103	16	31	0	1	0	1	1		2.13238128748964	1
6	9749279	2015	237	8	2	1	0	1	0	1	0.354159852233221		0
7	9749282	2015	135	10	8	0	1	0	1	1		12.7332161530339	1
8	6291466	2015	123	11	53	1	0	1	0	1	1.13122306296737		0
9	6291499	2014	315	8	44	0	1	0	1	1		6.20219514092036	0
10	6291548	2015	104	6	28	0	1	0	1	1		1.27923814209955	1

Abbildung 4: Beispieldatensatz SQL für Kanten des GIS-Netzes; Strava 2016

Die einzelnen Spalten beinhalten dabei folgende Werte:

<i>athlete_count</i>	Anzahl der Radfahrenden in Digitalisierungsrichtung der Kante
<i>rev_athlete_count</i>	Anzahl der Radfahrenden entgegen der Digitalisierungsrichtung der Kante
<i>activity_count</i>	Anzahl der Aktivitäten in Digitalisierungsrichtung der Kante, eine Aktivität kann mehrere Athleten beinhalten
<i>rev_activity_count</i>	Anzahl der Aktivitäten entgegen der Digitalisierungsrichtung der Kante, eine Aktivität kann mehrere Athleten beinhalten
<i>total_activity_count</i>	Gesamtanzahl der Aktivitäten über beide Fahrtrichtungen
<i>activity_time</i>	Benötigte Zeit um die Netzkante in Digitalisierungsrichtung zu passieren. In Verbindung mit der Länge des Netzelementes lässt sich die Geschwindigkeit errechnen.
<i>commute_count</i>	Anzahl der als Pendelfahrten identifizierten Radfahrten, entweder 0 = Sport- od. Freizeitfahrt oder >0 <= total_activity_count, dann Pendlerfahrt.

Dabei ist vor allem der Parameter „commute_count“ von großer Bedeutung. Innerhalb des Strava-Datensatzes markiert er diejenigen Fahrten, die nach den Parametern des Datenproviders Pendlerfahrten entsprechen. De facto ist er also dazu geeignet Fahrten mit eher sportivem Hintergrund aus dem Datensatz zu exkludieren. Vor dem Hintergrund der soziodemografischen Zusammensetzung des Datensatzes der Stravanutzenden und dem eher kompetitiven Hintergrund der App ist dieses Vorgehen vor allem für die Betrachtung von Verkehrsmengen im Netz und von Geschwindigkeiten zu empfehlen. Vertiefende Betrachtungen dazu finden sich unter Punkt 7.1 sowie 7.7.

Netzknotendaten

Ähnlich den auf die Netzkanten referenzierten Streckendaten werden auch die Knotenpunktdaten behandelt. Auch für diesen Datensatz sind anhand der Zeitstempel und der übrigen Parameter unterschiedliche Aggregationen möglich. Hierfür wird der Index der Knotenpunkte des GIS-Basisnetzes mit dem indizierten Parameter `node_id` verknüpft.

	node_id integer	year integer	day integer	hour integer	minute integer	athletes integer	activities integer	median_wait integer	max_wait integer	min_wait integer	commute_count integer
1	2752	2015	157	12	9	1	1	1	1	1	1
2	2752	2015	165	21	8	1	1	0	0	0	0
3	2752	2015	181	12	9	1	1	0	0	0	0
4	8254	2015	164	8	35	1	1	4	4	4	0
5	2752	2015	183	19	15	1	1	1	1	1	0
6	11005	2015	158	16	36	1	1	0	0	0	0
7	8254	2015	174	21	21	1	1	4	4	4	0
8	2752	2015	185	11	28	1	1	2	2	2	0
9	11005	2015	159	10	10	1	1	8	8	8	1
10	8254	2015	183	15	48	1	1	3	3	3	1

Abbildung 5: Knotenpunktdaten; Strava; SQL-Datenbankauszug

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, werden für die Knotenpunkte einzelne Durchfahrten und deren Wartezeiten angegeben. Die Berechnungsmethodik der Wartezeiten wird im Absatz 7.6 näher erläutert. Für Knotenpunkte kann generell die Annahme des Knotenpunktes als restriktives Element gelten. Eine Unterscheidung in Pendlerfahrten und Sportfahrten ist hier zwar möglich, aber nicht zwingend nötig. Die einzelnen Parameter gleichen denen des Datensatzes für die Netzkanten. Einzige Ausnahme bildet hierbei die angegebene Wartezeit statt der Fahrtzeit über ein Kantenelement. Unterschiedliche Werte für `median_wait`, `max_wait` und `min_wait` sind nur zu erwarten, falls eine Gruppe von Radfahrenden, welche alle die App nutzen, den Knotenpunkt zur gleichen Zeit passiert. Dies ist aufgrund der auf die Gesamtpopulation der Radfahrenden gesehen geringen Verdichtungsrate der Strava-App jedoch ein eher seltenes Ereignis. Für die erfolgten Berechnungen zu den Wartezeiten wurden im Folgenden jeweils die maximalen Wartezeiten verwendet.

Quelle-Ziel-Matrizen

Da aus Datenschutzgründen nicht die vollständigen Fahrten der Nutzer übergeben werden können, sondern nur Aggregate, sind auf Ebene der Netzkanten nur Verkehrsmengen, nicht aber Routenwahlentscheidungen oder Quellen und Ziele der Radfahrenden vorhanden. Um diese, aus planerischer Sicht, wichtigen Informationen dennoch nutzen zu können, werden die Daten auf größere Blockelemente projiziert. Dies können in Absprache mit dem Datenprovider bspw. Postleitzahlenbereiche oder Ortsamtsbereiche sein. Diese Einteilungen haben das Problem gemein, dass sie nur auf einer sehr groben, makroskopischen Ebene Informationen liefern. Mitunter liegen also die Daten für Routenkorridore in dieser Einteilung nicht granular genug vor. Eine Alternative böte sich mit der Verwendung der Blockkarten, die von vielen Städten genutzt werden. Diese jedoch sind räumlich meist sehr fein aufgelöst (50m und weniger), widersprechen somit zum Teil den Datenschutzrichtlinien, da sie es unter Umständen erlauben einzelne Personen aufgrund von Wohnort oder Arbeitsplatz zu identifizieren. Ein weiteres Problem ist die Grenzlegung an Verkehrsachsen. So ist die Zuweisung von Wegen mitunter recht schwierig. Damit sind die in den meisten Kommunen vorliegenden räumlichen Auflösungen des GIS nahezu ausgeschöpft. In Städten mit Verkehrsmodellen liegen zudem meist Verkehrszellen vor, die sich je nach Qualität in der Auflösung der Ortsamtsbereiche oder etwas feiner bewegen. Diese bieten eine Möglichkeit zum Aufbau einer Quelle-Ziel-Matrix der Radfahrenden, liegen jedoch bundesweit unterschiedlich aufgelöst oder gar nicht vor. Im vorliegenden Projekt wurde für die Bildung eines Quelle-Ziel-Netzes das einheitliche europäische Gittersystem für amtliche Statistik verwendet. Dazu wurden Polygone als regelmäßige Quadrate mit einer Kantenlänge von 500m bzw. 1000m gebildet. Nach Absprache mit dem Datenprovider wurde die Variante mit 1000m Kantenlänge gewählt, da für die geringeren Kantenlängen Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes in wenig dicht bebauten Gebieten bestanden. Das gewählte Verfahren bietet zum einen die Chance für Kommunen den Schritt zu einer bundesweit einheitlichen Aufbereitung der Daten der amtlichen Statistik zu gehen,

zum anderen ist die Methodik relativ leicht vergleichbar. Die Polygonform Quadrat bietet außerdem die Möglichkeit die Wegelänge der einzelnen Wege abzuschätzen.

Die durch die Firma Strava auf die gelieferten Polygone projizieren Daten haben die in Abbildung 6 dargestellte Form.

	polygon_id <small>integer</small>	year <small>integer</small>	day <small>integer</small>	hour <small>integer</small>	minute <small>integer</small>	commute <small>integer</small>	dest_polygon_id <small>integer</small>	intersected_polygons <small>integer[]</small>
1	339081	2015	191	7	30	1	344108	{339528, 339970, 340403, 340404, 340824, 341243, 341658, 342069, 342477, 342478, 342888, 343297, 343703, 339081, 339082, 339527}
2	340399	2015	223	16	58	1	341238	{340399, 340819, 341238}
3	340403	2015	224	16	5	0	340403	{340404, 340405, 340825}
4	341648	2015	328	17	42	0	341648	{341648, 342059, 342467, 342058, 341647}

Abbildung 6: Schematische Darstellung Datensatz `polygons_ride`; SQL-Datenbankauszug

Die einzelnen Spalten beinhalten dabei folgende Daten:

<i>Polygon_id</i>	Startpolygon der gefahrenen Strecke; eindeutiger Wert für die Polygonbezeichnung, im Projekt fortlaufende Nummerierung
<i>year, day, hour, minute</i>	Spalten die den Zeitstempel markieren
<i>commute</i>	1 = Pendlerfahrt; 0 = Freizeit-/Sportfahrt
<i>dest_polygon_id</i>	Zielpolygon der gefahrenen Strecke; eindeutiger Wert für die Polygonbezeichnung, im Projekt fortlaufende Nummerierung
<i>Intersected_polygons</i>	Bezeichnet die zwischen Start und Ziel durchfahrenen Polygone.

Dabei können Start- und Zielpolygon den gleichen Wert aufweisen, wenn es sich um „Rundfahrten“ handelt. Neben einer Darstellung der am häufigsten genutzten Quellen und Ziele für Radfahrten können auch die Wegelängen und die genutzten Korridore abgeschätzt werden. Dabei wird näherungsweise die Kantenlänge eines Polygons mit der Anzahl der durchfahrenen Polygone multipliziert. Die Fahrtweite wird dabei unter Umständen etwas überschätzt, aber näherungsweise lässt sich auf diese schließen.

Einordnung

Die Strava-Daten beinhalten eine große Menge an realen Radfahrten und sind per se dazu geeignet ein relatives Abbild der Radverkehrsmengen und des Radverkehrsverhaltens abzubilden. Etwaige Verzerrungen aufgrund der Stichprobenzusammensetzung werden im Folgenden untersucht. Grundsätzlich bietet die Darreichung der Ursprungsdaten als „Minute_Data“, bei gleichzeitiger

Zuordnung zu einem Netzelement aber weitreichende Möglichkeiten passgenaue eigene Auswertungen zu erstellen, ohne dabei den Datenschutz zu verletzen. Ein Kritikpunkt ist jedoch die undurchsichtige Einordnung der Pendlerfahrten nach einer Black-Box-Methodik. Hier wäre mehr Transparenz wünschenswert.

5.3 Explorative Datenanalyse am Beispiel der Pilotkommune Dresden

Basierend auf den verwendeten Kartengrundlagen wurde mit einer explorativen Datenanalyse für die Beispielkommunen Dresden und Chemnitz begonnen. Im Fokus steht dabei zunächst ein genereller Überblick über die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Daten, sowie eine erste, grobe Plausibilitätsprüfung.

Die Pilotkommune Dresden hat als Landeshauptstadt des Bundeslandes Sachsen circa 553.000 Einwohner. Die Topographie ist, bedingt durch die Lage im Elbtal zwar als flach einzuschätzen, weist aber an beiden Seiten des Flusses ansteigende Hänge auf. Der Radverkehrsanteil betrug im Jahr 2013 nach der Auswertung des aktuellen SrV 12%. An dieser Stelle muss jedoch auf die ungünstigen meteorologischen Randbedingungen im Erhebungszeitraum verwiesen werden. Insgesamt ist wohl eher mit einem steigenden Trend zu rechnen, wie auch in Abbildung 7 ersichtlich. Im zeitlichen Rahmen der vorliegenden Studie wurde das Radverkehrskonzept der Stadt veröffentlicht. Nennenswerte Lückenschlüsse im Radverkehrsnetz waren jedoch nicht zu verzeichnen. Eine Besonderheit stellt eine der Elbbrücken dar: hier wurden umfangreiche Baumaßnahmen durchgeführt. Während dieser wurde der Radverkehr auf einer Behelfsbrücke neben der eigentlichen Brücke geführt. Diese wurde jedoch nicht nachdigitalisiert. An dieser Stelle sind also Verzerrungen zu erwarten.

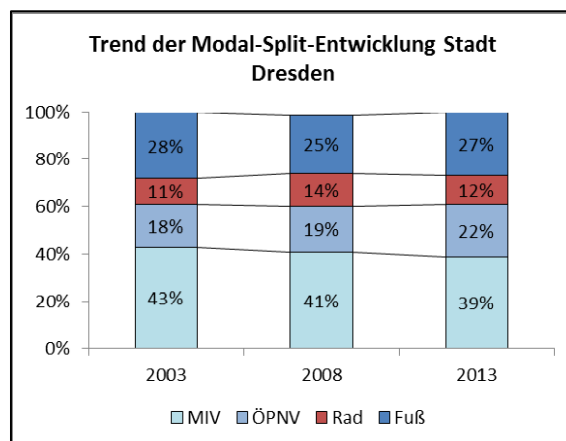


Abbildung 7: Modal-Split Entwicklung in Dresden

Abbildung 8 zeigt die Grundkarte der Stadt Dresden zur Veranschaulichung der im Folgenden erläuterten Sachverhalte. Die Kartenquelle ist, analog zum genutzten Netzgraphen, OpenStreetmap. Klar ersichtlich ist der Fluss Elbe. An diesem entlang führt der Elberadweg, als Teil des gleichnamigen Radfernweges. Im Nordosten der Stadt befindet sich der Stadtwald, die Dresdner Heide. Diese ist als Naherholungsgebiet bei den Einwohnern sehr beliebt und von einem Netz an Wander- und Forstwegen durchzogen. Nordwestlich und im Süden der Karte erstrecken sich zudem die Autobahnen A4 und A17. Ebenfalls deutlich zu erkennen ist das Schienennetz von Fern-, S- und Straßenbahn.

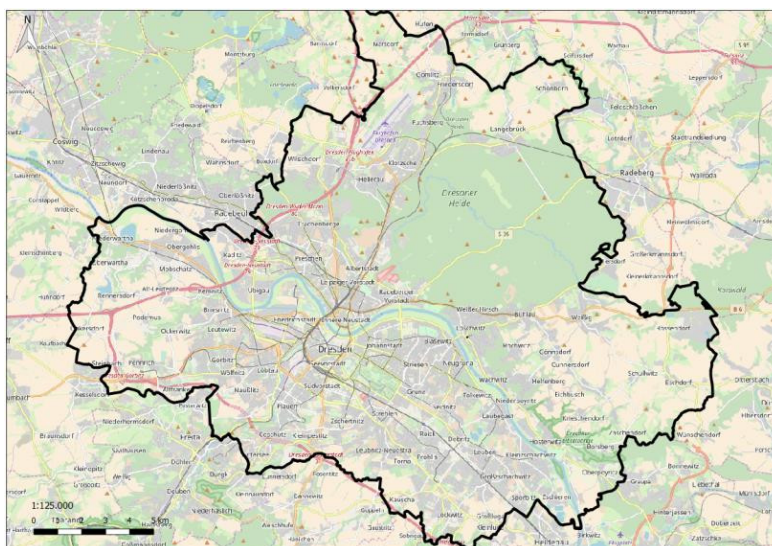


Abbildung 8: Grundkarte der Stadt Dresden, eigene Darstellung, OSM

Verkehrsmengen

Die generelle Netzabdeckung durch die Nutzerinnen und Nutzer der App ist für das Gebiet der Stadt Dresden sehr zufriedenstellend, wie in Abbildung 9 ersichtlich ist.

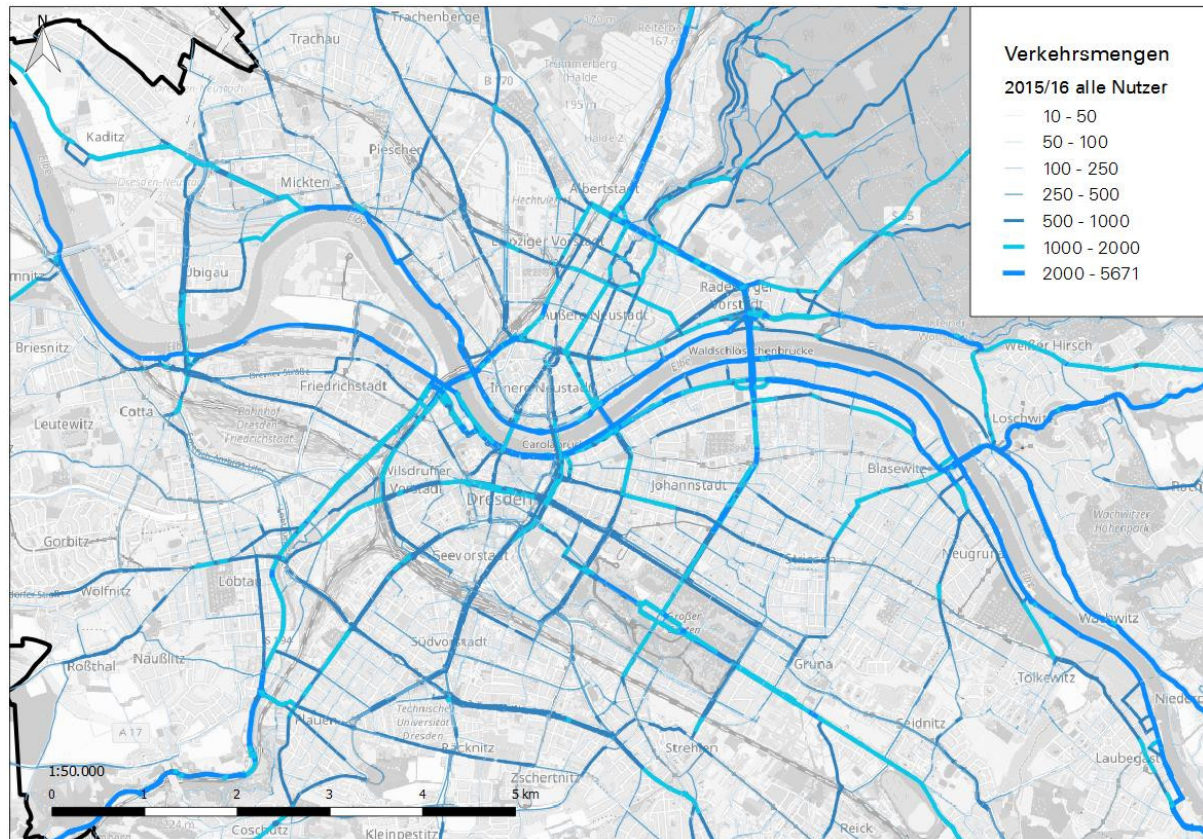


Abbildung 9: Verkehrsstärken aller Strava-Nutzer, 06/2015-06,2016, eigene Darstellung

Klar ersichtlich ist beispielsweise die herausgehobene Stellung des Elberadweges als innerstädtische Verbindung in Ost-West-Richtung, sowie die starke Nutzung der Königsbrücker Straße aus Richtung Norden als eine Hauptachse für Ein- und Auspendler. Schwarze Linien kennzeichnen Wege, die im Zeitraum der Datenerfassung nicht von Strava-Nutzenden befahren wurden. Dies ist in vielen Fällen dadurch bedingt, dass die Radfahrenden diese nicht befahren dürfen oder können. Die längeren in schwarz gehaltenen Straßenzüge bzw. Linienelemente sind nahezu ausnahmslos Autobahnen, oder S-Bahnstrecken. Die Netzabdeckung ist folglich als sehr gut einzuschätzen. Die Verkehrsmengen sind einer ersten Grobanalyse zufolge auch überwiegend plausibel. Probleme ergeben sich vor allem durch die Darstellung der Freizeitfahrten. Im Nordosten der Kartendarstellung

befindet sich ein größerer Bereich des Stadtwaldes. Hier sind ausschließlich Forststraßen mit Schotterdecke, bzw. qualitativ niedriger einzustufende Wege vorhanden. Für Alltagsfahrten hat dieser Bereich eine deutlich geringere Bedeutung als aus dieser Darstellungsform hervorgeht. Anzumerken ist, dass in dieser Form der Darstellung noch keine Differenzierung nach verschiedenen Wegezwecken, wie Arbeitswegen, oder reinen Freizeitfahrten erfolgte. Derartige Karten und dementsprechende Differenzenzkarten können jedoch erstellt werden.

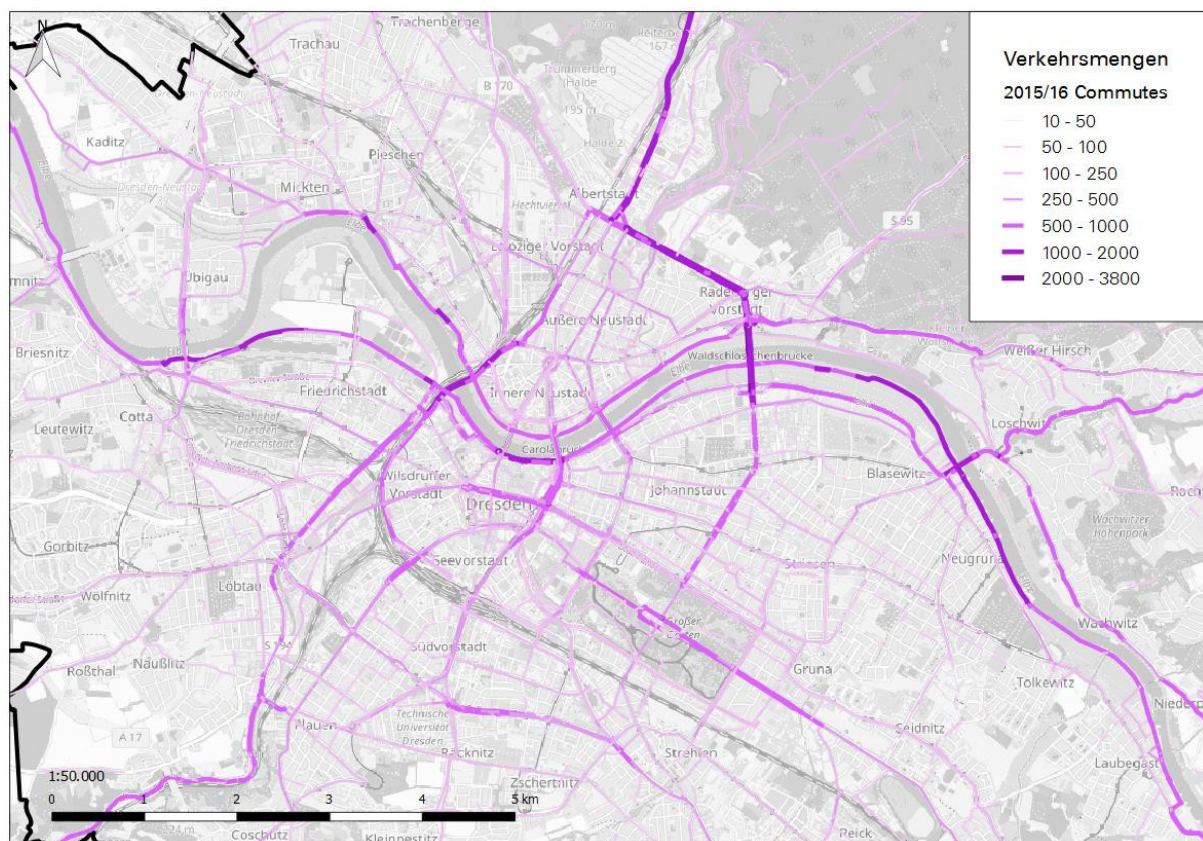


Abbildung 10: Als „Commute“ gekennzeichnete Fahrten der Strava-Nutzer, 06/2015-06/2016, eigene Darstellung

Abbildung 10 zeigt die durch Strava als Alltags- bzw. Pendlerfahrten („Commute“) gekennzeichneten Wege. Auf den ersten Blick ist eine Verringerung der Verkehrsmengen über die gesamte Karte zu verzeichnen. So liegt beispielsweise der Anteil der Alltagsfahrten auf Segmenten des Elberadweges bei lediglich 50%. Auch im nordöstlichen Bereich des Stadtwaldes sind Rückgänge der Fahrtenzahlen zu beobachten. Die These der überdurchschnittlich repräsentierten Sportfahrten kann also für diesen Bereich als bestätigt angesehen werden. Offensichtlich nutzen also

unterschiedliche Typen von Radsportlerinnen und Radsportlern gleichermaßen die App. Während Mountainbikerinnen und Mountainbiker sich aufgrund der genutzten Wege relativ leicht lokalisieren und anschließend auch aus Kartendarstellungen exkludieren lassen könnten, ist dies für den Straßenradsport nicht ohne weiteres möglich. An dieser Stelle stellt sich aber die Frage nach der praktischen Notwendigkeit für die Radverkehrsplanung, da grundsätzlich alle Straßenradsportlerinnen und -radsportler auf das kommunale Verkehrsnetz angewiesen sind.

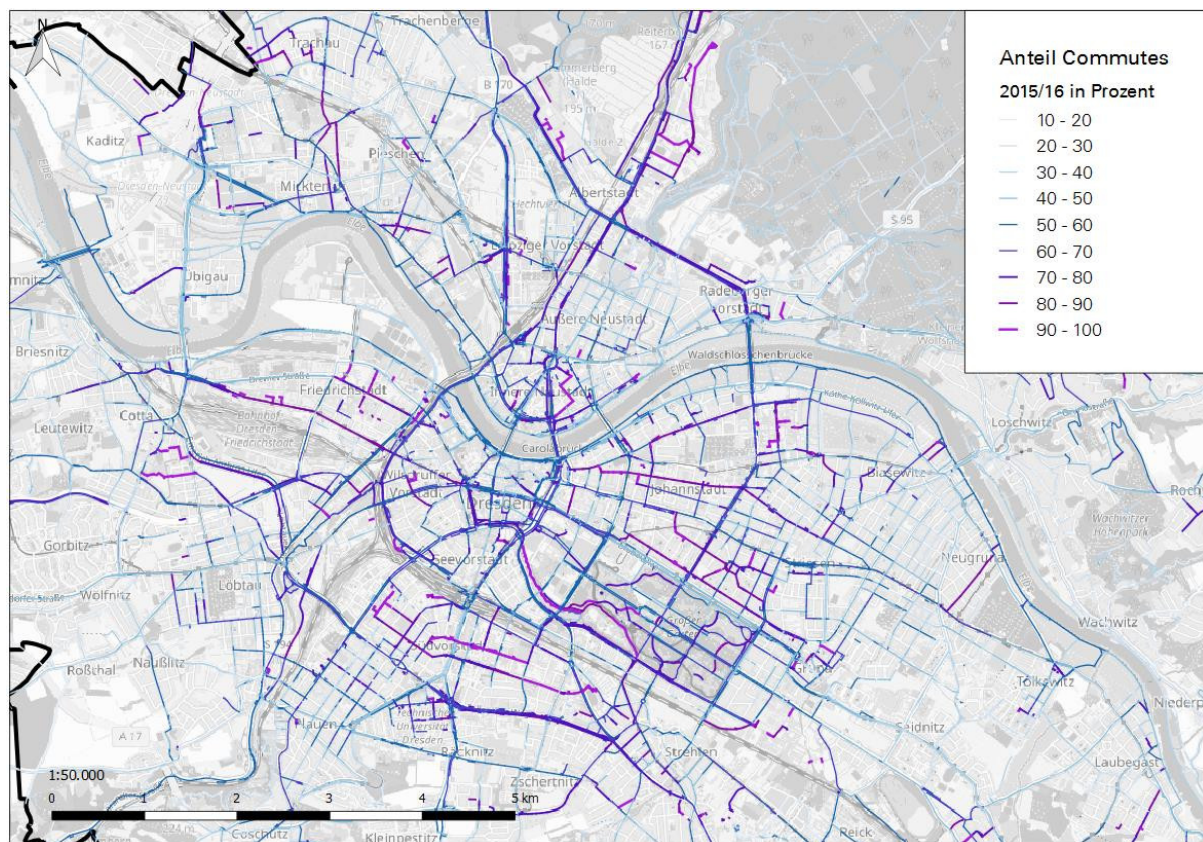


Abbildung 11: Anteil der als "Commute" markierten Fahrten an den Gesamtfahrten, 06/2015-06/2016, eigene Darstellung

Der Sachverhalt unterschiedlicher Anteile an Fahrten mit Freizeitcharakter und an Alltagsfahrten wird durch Abbildung 11 verdeutlicht. So weist das Stadtzentrum einen hohen Anteil von Alltagsfahrten auf, während in den Randgebieten der Anteil der Freizeitfahrten deutlich überwiegt. Gut erkennbar ist auch die Nutzungsmischung auf dem Elberadweg. Hier sind die Anteile beider Klassen in etwa gleich groß.

Differenznetz der Radverkehrsmenge

Die in zwei Zeitscheiben aufgelösten Radverkehrsmengen der Stadt Dresden ermöglichen die Darstellung eines Differenznetzes. Hier ist jedoch aufgrund der sich überschneidenden Zeiträume Vorsicht bei der Interpretation angebracht. Der Zeitraum der ersten Datenranche beläuft sich auf das gesamte Jahr 2015, während die zweite Datenlieferung den Zeitraum zwischen Juni 2015 und Juni 2016 abdeckt. Trotz der zeitlichen Überschneidung sieht man eine deutliche Entwicklung der Radverkehrsmengen von Zeitraum eins nach Zeitscheibe zwei.

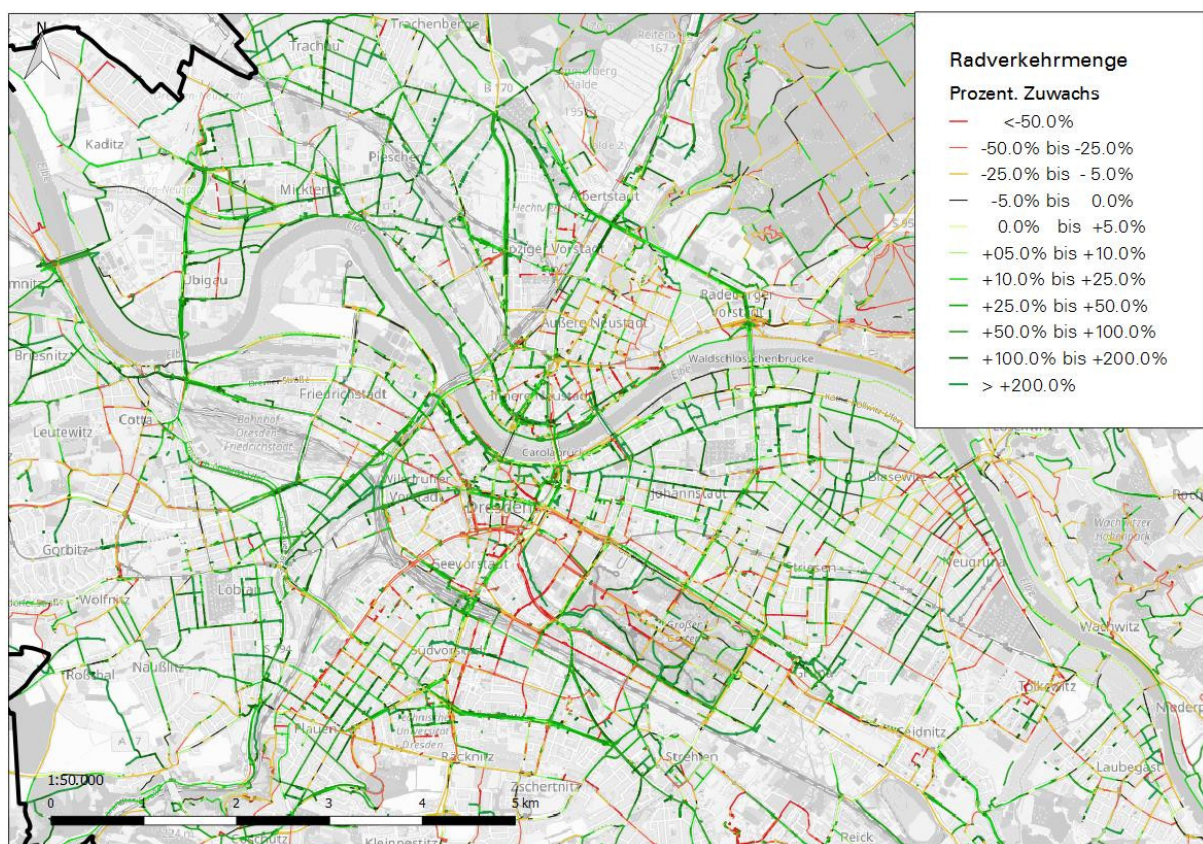


Abbildung 12: Differenznetz der Radverkehrsmengen Stadt Dresden (2015 vs. 06/2015-06/2016) , eigene Darstellung

Gut ersichtlich ist hier die insgesamt ansteigende Nutzerzahl im gesamten Kartenausschnitt, dies ist jedoch vermutlich überwiegend auf die generell steigenden App-Nutzerzahlen zurückzuführen. Zwischen den beiden betrachteten Zeitscheiben fand innerhalb des bezogenen Datensatzes ein beträchtlicher Anstieg der Nutzerzahlen statt (vgl. Abs. *Exkurs App-Nutzerzahlen*).

Im Kontext der kommunalen Datennutzung bedeutet dies, dass zusammen mit den Datentranchen auch die Nutzerzahlen der App für den gewünschten Kartenausschnitt mit übermittelt werden sollten. Anschließend ist eine Normierung der Verkehrsmengen auf Basis der Nutzerzahlen anzuraten. Im Zuge der Normierung kann es aufgrund der, verglichen mit der Grundgesamtheit, recht kleinen Stichprobe zu starken Verzerrungen kommen. Da sich die Vorgehensweise stark von einem Panel unterscheidet, kann das Ausscheiden besonders intensiver Nutzenden zu deutlichen Einbrüchen bei der Radverkehrsmenge führen.

Zugrunde liegt bei der Normierung außerdem die Annahme des Inländerprinzips, also dass der überwiegende Teil der Fahrten von lokalen Nutzerinnenn und Nutzern erbracht wird. Touristischen Fahrten wird demzufolge eine eher geringe Bedeutung zugemessen. Weiterhin geht nicht aus den Daten hervor, wie die Personen, die touristische Fahrten erbringen, den Nutzerzahlen zugeordnet werden.

Ein weiteres Problem stellen sich verändernde Kartendaten dar. Im Projekt wurde vor Auslieferung der zweiten Datentranche durch den Datenprovider ein neues GIS-Netz getestet. Die übermittelten Daten waren anschließend also nicht direkt vergleichbar, obgleich die Datenqualität des neuen Netzes deutlich höher war, als die des vorher genutzten. Abhilfe schuf hier ein unscharfer Vergleich der Datensätze auf Basis ihrer Georeferenzierung. Somit konnte anschließend ein, wenn auch nicht vollständig passfähiges, Differenznetz erstellt werden.

Allgemein lässt sich konstatieren, dass im Hinblick auf die Nutzung von Differenznetzen für Fachplanerinnen und Fachplaner auch ohne Normierung der Daten wohl am ehesten diejenigen Knoten und Strecken von Interesse sind, die einen Rückgang der Verkehrsstärken zu verzeichnen haben. Das Instrument Differenznetz sollte aber in zukünftigen Arbeiten über eine eindeutige Nutzeridentifikation den Gedanken einer Paneldatenanalyse aufgreifen.

Exkurs App-Nutzerzahlen

Die Nutzerzahlen für das Untersuchungsgebiet stiegen im in der Datentranche für das Jahr 2016 um 54% verglichen mit dem Jahr 2015. Da sich für ein halbes Jahr die

Zeiträume der Datenerhebung überschneiden, muss der Nutzerzuwachs im Jahr 2016 stattgefunden haben. Betrachtet man unabhängige Jahresscheiben, ist also eher mit einem höheren Wachstum zu rechnen. Weitere Wachstumsparameter innerhalb der Datensätze haben sich nach Abbildung 13 vergleichbar stark entwickelt. Konstatiert werden kann auch, dass Nutzerzahl und Aktivitätenzahl nicht in gleichem Maße wachsen. Die Anzahl der App-Nutzenden steigt stärker an, als die durch sie aufgezeichneten Fahrten. Die Anzahl der durchschnittlich aufgezeichneten Fahrten je Nutzer sinkt sogar. Dies kann ein Indiz dafür sein, dass nach einer anfänglichen Phase mit extrem sportiv orientierten Dauernutzenden, die App auch zunehmend für die breite Masse interessanter wird. Dafür spricht auch die leicht höhere Zuwachsrate bei Nutzerinnen. Demgegenüber steht jedoch eine leicht gestiegene durchschnittliche Streckenlänge, welche wiederum für sportive Nutzende spricht.

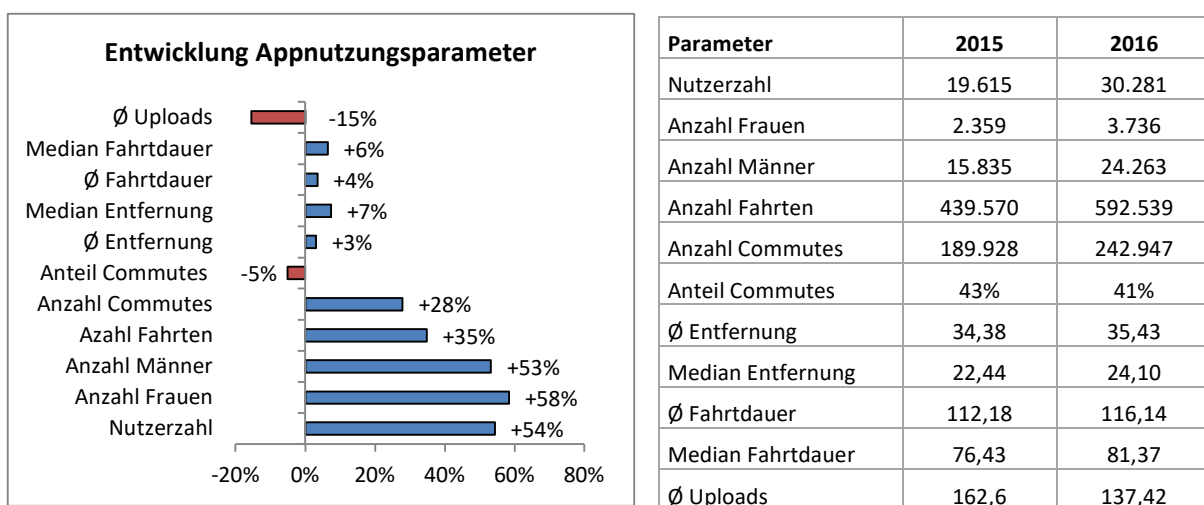


Abbildung 13: Zuwachsraten der auf Strava bezogenen Datenparameter

Auch die Anzahl der Alltagswege steigt nicht in gleichem Maße wie die der gesamten Aktivitäten. Es ist also von einem leicht erhöhtem Anteil an Sportfahrten auszugehen. Grundsätzlich lässt sich ob der gestiegenen Nutzerzahlen auch eine gestiegene Reichweite der Sportapp feststellen.

Geschwindigkeiten

Auch die visualisierten Geschwindigkeiten stellen hier den Durchschnitt aller im Zeitraum von 06/2015-06/2016 aufgezeichneten Fahrten auf den jeweiligen Netzelementen dar. Dabei ist zu beachten, dass für jede Kante im System, natürlich richtungsgetrennt, zwei unterschiedliche Geschwindigkeiten vorliegen. Während der zugrunde liegenden Datenverarbeitung werden diese lediglich „mit“ und „entgegen“ der Digitalisierungsrichtung der entsprechenden Kanten in der GIS-Kartengrundlage berechnet. Der in Abbildung 14 dargestellte Sachverhalt entspricht dem gewichteten Mittelwert beider Richtungen. Diese Problematik hat bei einem Streckenverlauf in der Ebene nur sehr geringen Einfluss auf das dargestellte Ergebnis. Bei Steigungsstrecken offenbaren sich jedoch große Differenzen. Erschwerend kommt an dieser Stelle hinzu, dass innerhalb der Basiskarten meist kein Muster für die Festlegung der Digitalisierungsrichtung erkennbar ist. So sind Darstellungen aller „Bergab“-Fahrten bzw. aller Fahrten bergan nicht trivial lösbar.

Berechnet werden die Geschwindigkeiten aus den Parametern Reisezeit auf der Kante und Kantenlänge. Die unbekannte Berechnungsvorschrift für die Reisezeit auf der Kante hat zur Folge, dass Einflüsse von Knotenpunkten und Lichtsignalanlagen auf die dargestellten Geschwindigkeiten nicht ausgeschlossen werden können. Eine saubere, methodische Trennung der Parameter Geschwindigkeit und Wartezeit ist für zukünftige Ansätze unbedingt anzuraten und wird beispielsweise bei den zugrunde liegenden Berechnungen von cycleprint² verwendet.

² Erreichbar unter app.cycleprint.eu, vormals Bikeprint.nl

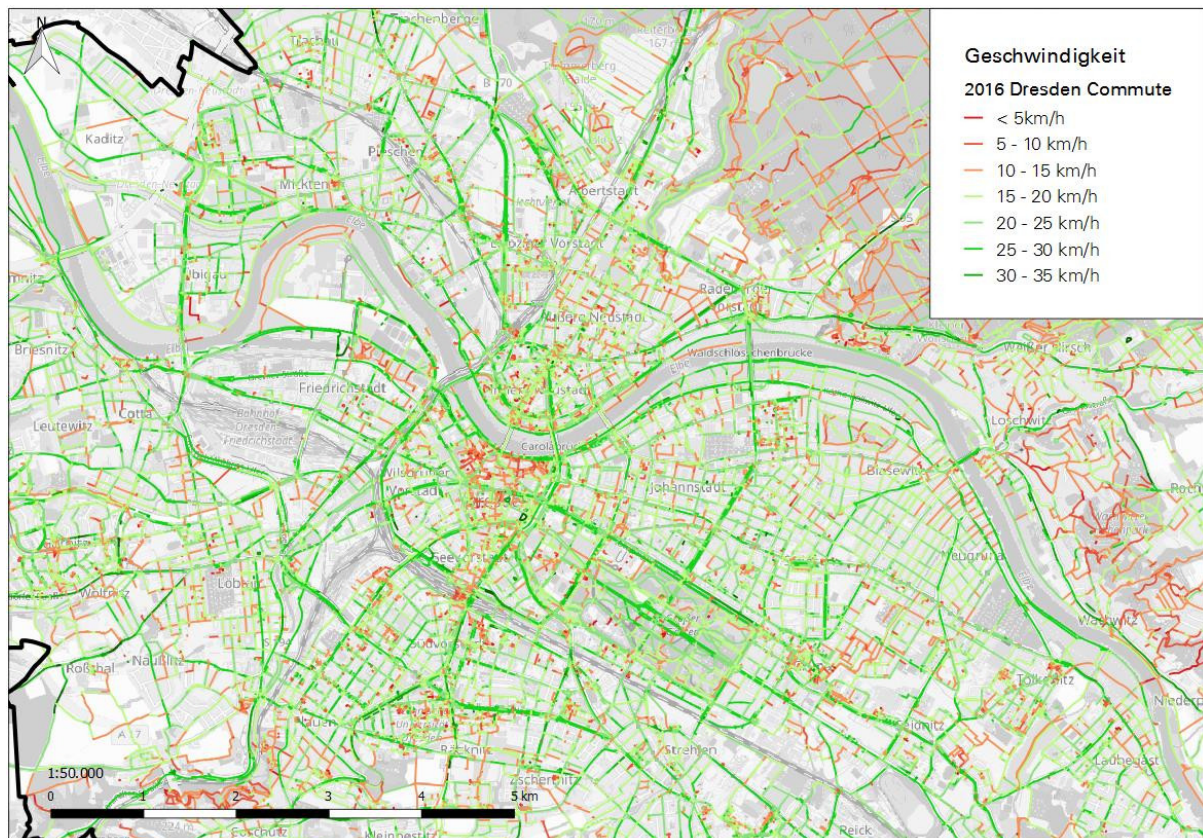


Abbildung 14: Durchschnittsgeschwindigkeiten von „Commute“-Fahrten gewichtet über beide Digitalisierungsrichtungen der Kanten, eigene Darstellung (Zeitraum: 05/2015-06/2016)

Die in Abbildung 14 dargestellten Geschwindigkeiten verdeutlichen nochmals die angesprochene Sonderstellung des Dresdner Stadtwaldes. Hier ist klar ersichtlich, dass aufgrund bewegter Topographie und geschottertem Wegeoberbau nur geringere Geschwindigkeiten möglich sind. Für den Innenstadtbereich und auch den Elberadweg lässt sich im Allgemeinen eine erhöhte Radverkehrsgeschwindigkeit, beispielsweise im Vergleich zu Reisezeitmessungen, feststellen. Dies gibt Anlass zu einer erweiterten Prüfung der in diesen Bereichen reell gefahrenen Geschwindigkeiten (siehe dazu Kapitel 7.5).

Quelle-Ziel-Beziehungen

Neben Geschwindigkeiten und Verkehrsmengen sind aus den zur Verfügung stehenden Daten auch die Quelle-Ziel-Beziehungen der Radfahrenden ableitbar. Dies kann in zwei unterschiedlichen Stufen geschehen. Auf Stufe eins kann die absolute Anzahl der Quell- und Zielverkehre innerhalb der Stichprobe für die einzelnen

Polygone dargestellt werden. Dies kann beispielsweise dabei helfen, mögliche Defizite bei der Anzahl von Abstellanlagen zu erkennen.

Die verwendeten Polygone haben dabei eine Kantenlänge von 1000m und sind dem europäischen statistischen Netz nachempfunden um bspw. Censusdaten anspielen zu können.

In Abbildung 15 dargestellt sind dabei die Quellverkehre innerhalb der Stadtgrenzen der Stadt Dresden, die im Zuge von als „Commute“ markierten Fahrten erbracht wurden. Dafür wurden innerhalb der QZ-Matrix Verkehre betrachtet, die im Stadtgebiet von Dresden starten oder enden, um auch Ein- oder Auspendler räumlich erfassen zu können.

Gut zu erkennen ist die starke Konzentration auf das Stadtzentrum mit einer recht hohen Dichte an Wohnbebauungen. Daraus tritt abermals das Stadtviertel Äußere Neustadt hervor. Dieses kennzeichnet sich als Szeneviertel Dresdens. Die überwiegend jüngere Bevölkerung legt die These nahe, dass hier auch ein erhöhter Anteil an Radfahrenden vorliegt. Diese These kann anhand der Quellverkehre bestätigt werden. Weitere starke Quellen im Dresdner Norden, beziehungsweise im nördlichen Zentrumsbereich (in Violett dargestellt) sind deckungsgleich mit dem Standort großer Arbeitgeber. In diesem Fall Infineon und Globalfoundries mit 2.000³ beziehungsweise 3.700⁴ Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Im Stadtzentrum und südlich davon sind mit dem Campus der Technischen Universität Dresden und der nahe gelegenen Studentenwohnheime weitere starke Radverkehrsquellen ersichtlich. Ebenfalls auffällig ist abermals die Sonderstellung des Stadtwaldes. Die Dresdner Heide stellt im Nordosten der Stadt eine starke Senke für den Quellverkehr dar.

³ <http://www.infineon.com/cms/dresden/de/>

⁴ <https://www.globalfoundries.com/about-us/careers/opportunities-in-europe-de>

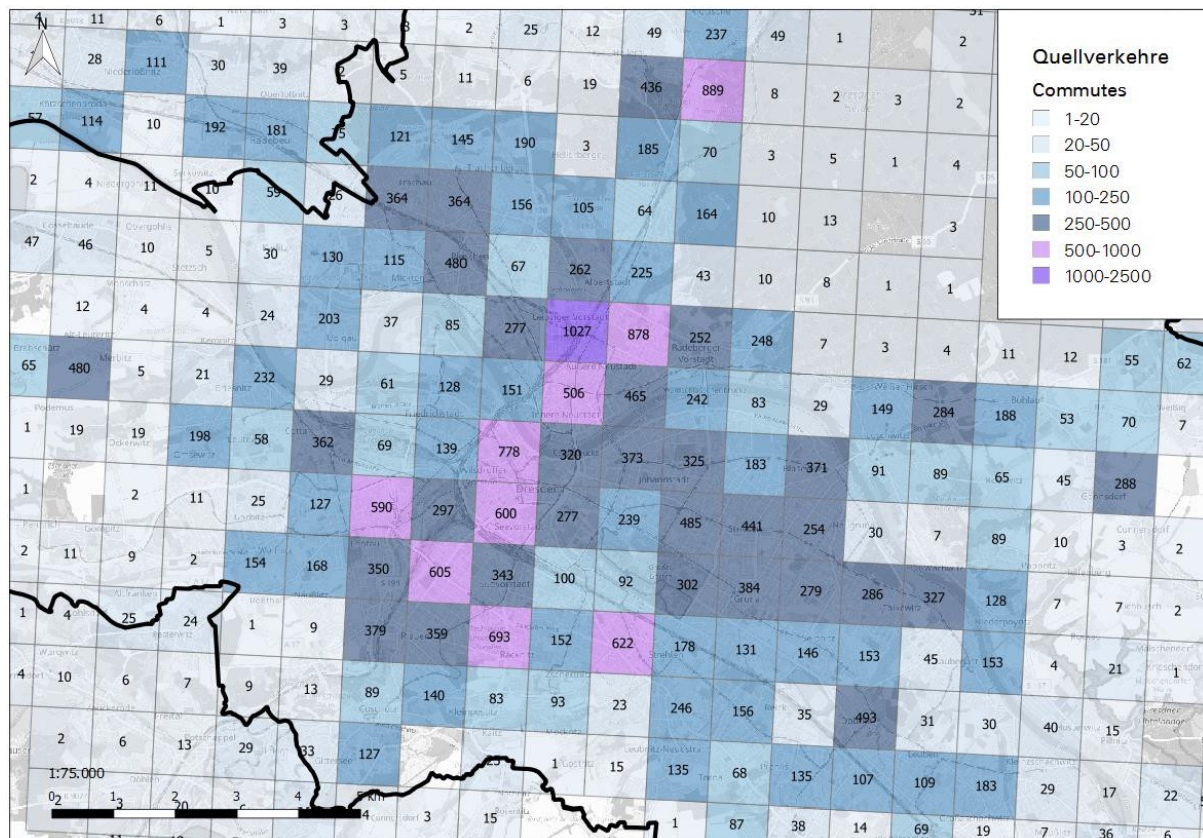


Abbildung 15: Quellverkehre der Strava-„Commute“ für die Stadt Dresden (06/2015-06/2016) , eigene Darstellung

Generell sind starke Quellverkehre also eher im Stadtzentrum als im städtischen Umland zu verorten. Dies ist auch aufgrund der höheren Einwohnerzahlen innerhalb der zentrumsnahen Stadtviertel sowie der Konzentration von Einzelhandel und Arbeitsplätzen folgerichtig.

Weitere Quellverkehrszellen für Pendlerinnen und Pendler sind vor allem in den Städten Radeberg, Pirna und Radebeul im Dresdner Umland zu finden. Generell jedoch sind die erfassten absoluten Zahlen für die Pendlerinnen und Pendler mit der gebotenen Vorsicht zu interpretieren. So können Werte von beispielsweise 200 Fahrten innerhalb eines Jahres durchaus von einer sehr aktiven Einzelperson erbracht worden sein.

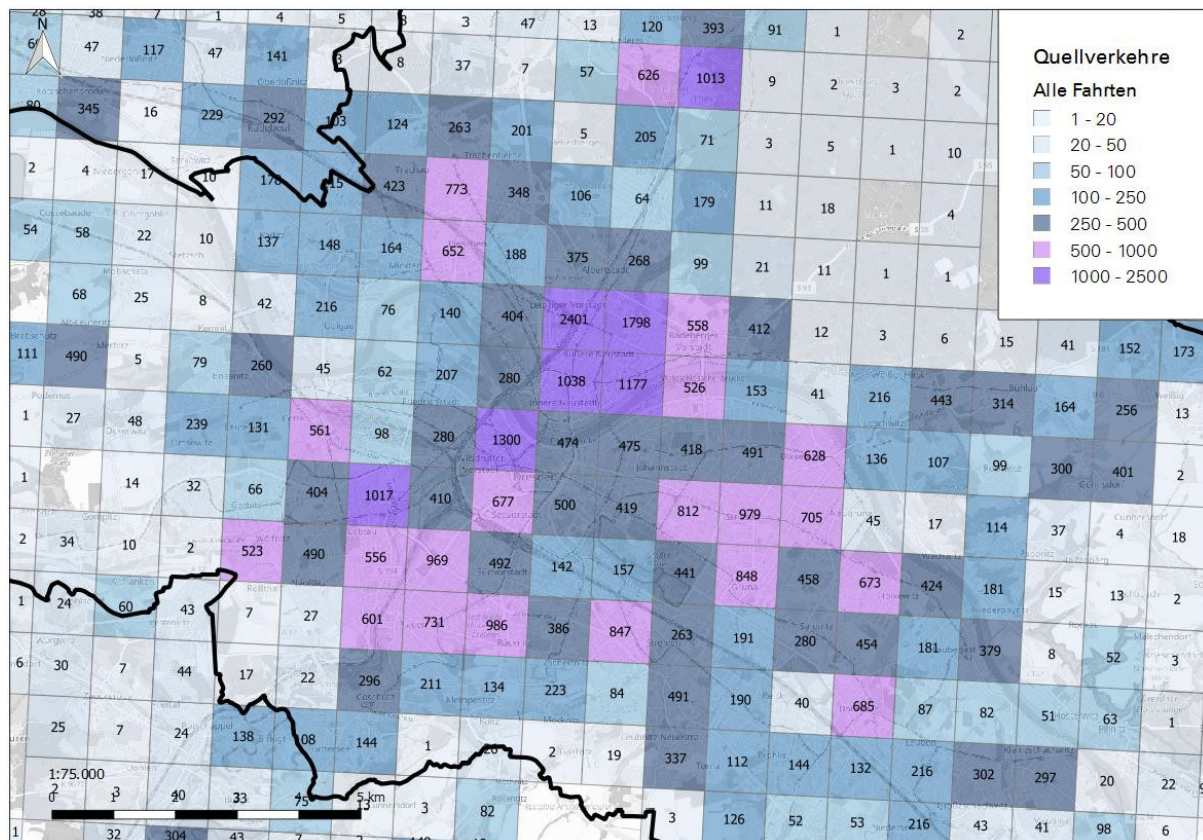


Abbildung 16: Quellverkehre für alle Strava-Fahrten in Dresden (06/2015-06/2016), eigene Darstellung

Ein ähnliches Bild zeichnet sich auch bei der Betrachtung aller Quellverkehre der Strava-Nutzenden (Abbildung 16). Die vorbezeichneten, besonders starken Quellen der Alltagsverkehre, bleiben bestehen, werden jedoch flächendeckend durch mehr Fahrtbeginne im urbanen Raum ergänzt. Auch ohne ein Differenznetz können an dieser Stelle bereits Bereiche mit einem hohen Anteil an Sportfahrten bzw. einem hohen Anteil an Pendlerfahrten identifiziert werden.

In der zweiten Stufe ist es nun möglich für bestimmte Verkehrszellen direkte Quelle-Ziel-Beziehungen herzustellen. Dies ermöglicht zum einen die Identifikation bestimmter, ggf. in der Radverkehrsplanung zu bevorzugender, Nutzungskorridore, zum zweiten ist es eine Möglichkeit anhand der absoluten Anzahl der Relationen besonders aktive Radfahrende als alleinige Verursacher zu identifizieren. Dies ist im Projektkontext nicht zweifelsfrei möglich, da individuelle Informationen zu den Radfahrenden nicht zur Verfügung stehen und es theoretisch auch möglich ist, dass mehrere weniger aktive Fahrer häufig die gleiche Relation nutzen. Anhand der,

vergleichen mit der städtischen Gesamtbevölkerung (>550.000 EW), jedoch eher geringen Stichprobe der Strava-Nutzenden (3.500) ist dieser Fall relativ unwahrscheinlich.

Abbildung 17 zeigt für das Gebiet der Äußeren Neustadt alle Relationen zwischen selbigem als Ziel und den jeweiligen Quellen, beziehungsweise zwischen dem Stadtviertel als Quelle und den zugeordneten Zielen. Zum einen spricht die Vielfalt der unterschiedlichen übrigen Ziele und Quellen für eine sehr heterogene Nutzermischung und eine Vielzahl aktiver Nutzenden, zum anderen wird auch der Einfluss wohlmöglich eines sehr aktiven Nutzenden zwischen dem Stadtteil Tolkewitz und dem betrachteten Stadtviertel deutlich. Auf dieser Relation allein wurden ca. 500 Fahrten erbracht. Statistisch ist dies, zumindest aufgrund der Einwohnerzahlen, gegenüber anderen Stadtteilen nicht zu rechtfertigen. Eine mögliche Erklärung wäre daher ein sehr regelmäßiger Pendler, oder eine regelmäßig stattfindende Trainingsrunde einer Sportgruppe.

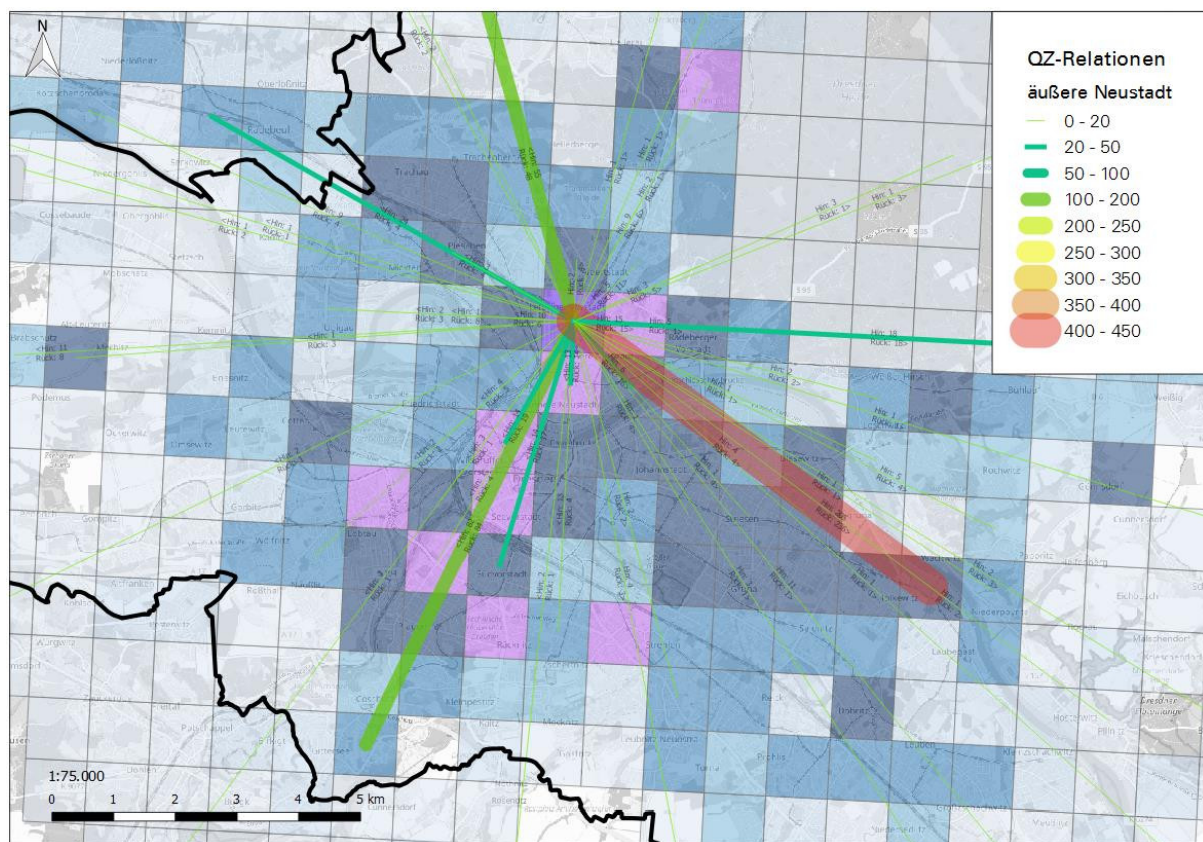


Abbildung 17: Genutzte Wegerelationen am Campus der TU Dresden (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung

5.4 Explorative Datenanalyse am Beispiel der Stadt Chemnitz

Neben der Analyse der Stadt Dresden, als Landeshauptstadt und sächsisches Oberzentrum, wurde mit der Stadt Chemnitz ein weiteres Oberzentrum in Sachsen analysiert. Chemnitz hat im Gegensatz zu Dresden nur ca. 248.000 Einwohner (Statistisches Landesamt Sachsen, 2016). Als Stadt mit langer Industriegeschichte ist Chemnitz bis heute Sinnbild der „autofreundlichen“ Stadt. Im Gegensatz zu Dresden betrug der Radverkehrsanteil im Jahr 2008 circa 6% der täglichen Wege (Haase, 2013). Ein weiterer Unterschied ist die Einstufung nach Topografie, während Dresden als „flach“ kategorisiert wird, ist Chemnitz als „hügelig“ eingestuft (Ahrens, 2015). Chemnitz stellt also in vielerlei Hinsicht einen Kontrapart für das Kernuntersuchungsgebiet dar. Dies ist insofern wichtig, als dass eine geglückte Anwendung der für die Pilotkommune Dresden entwickelten Auswertealgorithmen auf Chemnitz auch die Übertragbarkeit auf andere Kommunen nahe legt.

Verkehrsmengen

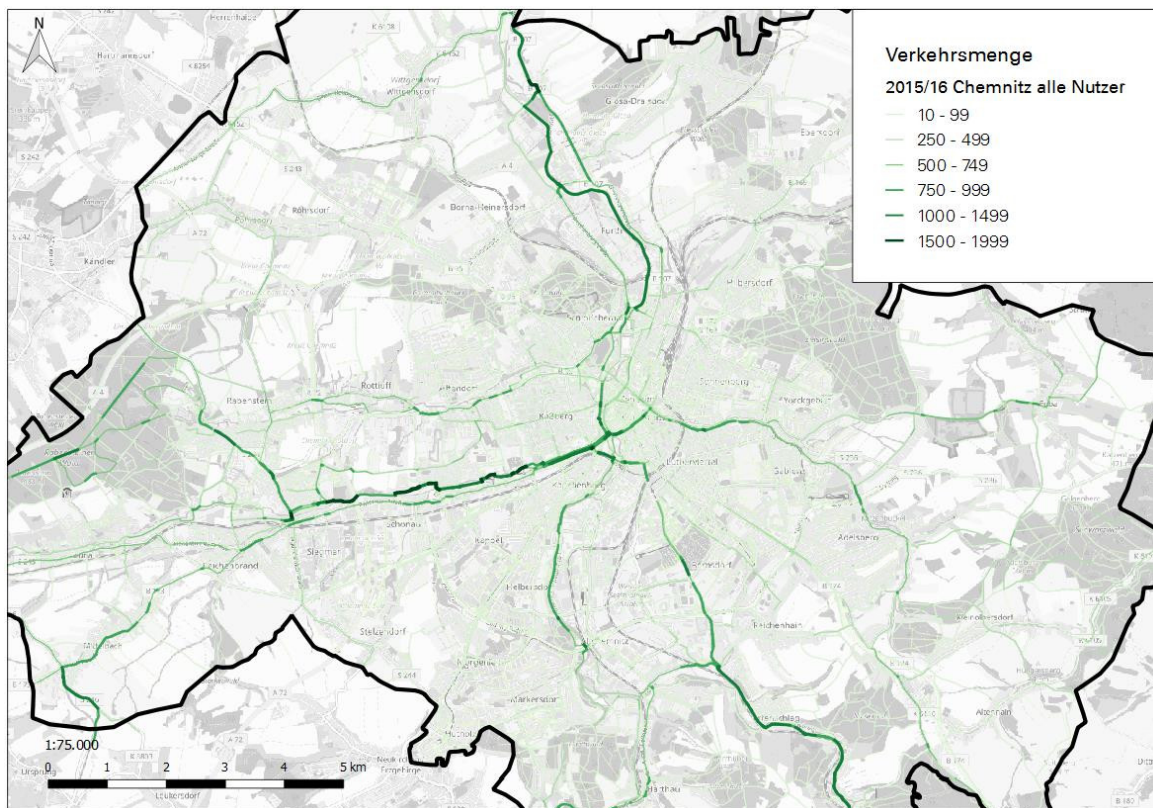


Abbildung 18: Verkehrsstärken aller Strava-Nutzenden in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung

Anhand der Verkehrsmengen, dargestellt in Abbildung 18, wird ersichtlich, dass der Datensatz für Chemnitz – wie zu erwarten – deutlich weniger Fahrten enthält. Während Spitzenwerte für Dresden bei ca. 4000 Fahrten je Segment zu verzeichnen sind, werden in Chemnitz maximal 1.600 Fahrten erreicht. Gleiches gilt auch für den Anteil der Pendlerfahrten – hier sind ebenfalls deutlich geringere Mengen zu verzeichnen. Generell lässt sich die Netzabdeckung jedoch als sehr gut beschreiben. Eine Konzentration der Verkehrsmengen findet dabei überwiegend im Zentrum, sowie dem Chemnitztalradweg im Westen und Norden des Stadtgebietes statt (ersichtlich in Abbildung 18).

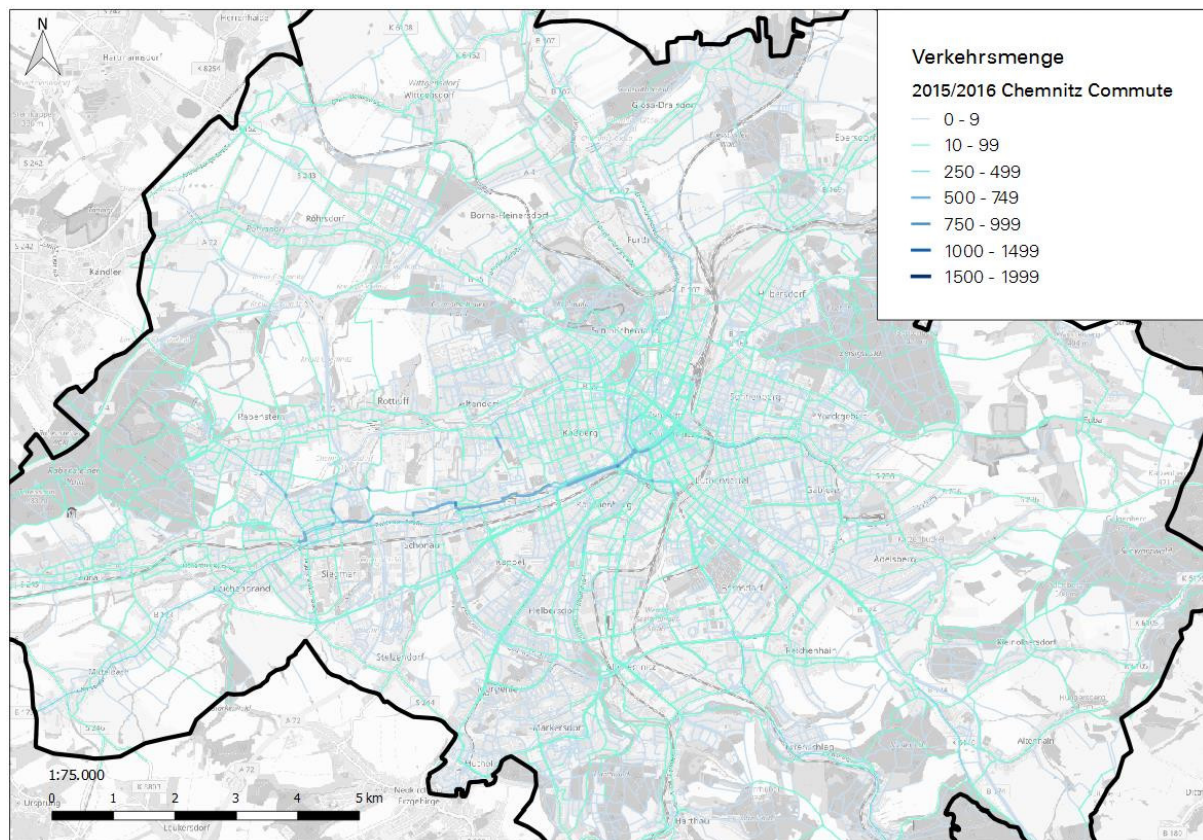


Abbildung 19: Als „Commute“ gekennzeichnete Fahrten der Strava-Nutzenden in Chemnitz (Zeitraum 06/2015-06/2016), eigene Darstellung

Geschwindigkeiten

Neben den Radverkehrsmengen wurden auch die Radverkehrsgeschwindigkeiten ausgewertet. Hier wird in der Darstellung des gewichteten Mittelwertes über beide Richtungen einer Kante deutlich, dass vor allem die bewaldeten Gebiete am

Stadtrand Rabenstein, Fuchsberg und Adelsberg mit bewegter Topografie für deutliche Geschwindigkeitseinbrüche sorgen.

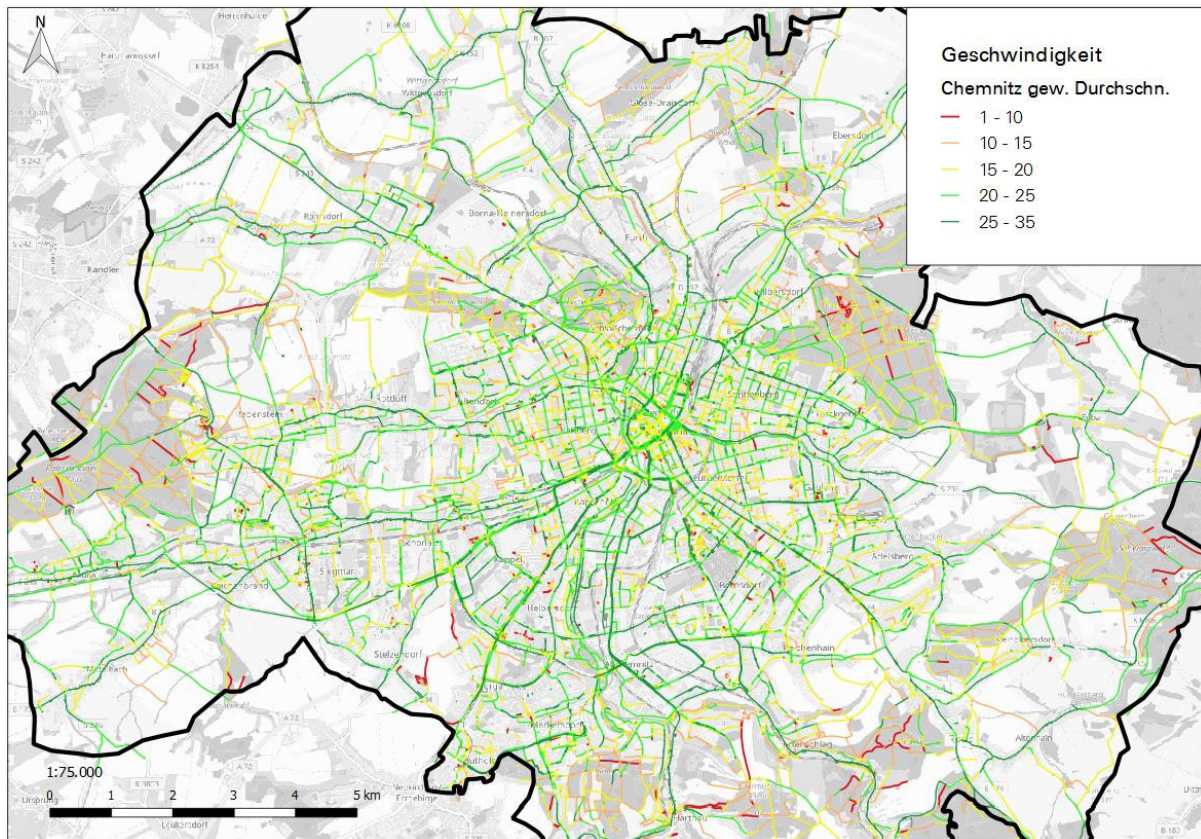


Abbildung 20: Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Strava-Nutzenden in der Stadt Chemnitz, gewichtet über beide Digitalisierungsrichtungen der Kante (Zeitraum: 06/2015-06/2016), eigene Darstellung

Verglichen mit dem Geschwindigkeitsniveau der Stadt Dresden, ist ein ähnlicher Anteil vergleichsweise hoher Geschwindigkeiten zu konstatieren. Jedoch wird die eingangs erwähnte, hügelige Topographie im Kartenbild sehr deutlich. Das Gesamtbild wird ergänzt von vergleichsweise niedrigeren Geschwindigkeiten abseits der Magistralen im Zentrum. Ein möglicher Grund hierfür ist die gemeinsame Führung mit dem Fußgängerverkehr im Gehwegbereich oder das Fehlen von Radverkehrsanlagen. Eine gezielte Schwachstellenanalyse wäre also auf Basis der vorliegenden Daten beispielsweise im Bereich der naturnahen Radwegeführung für den Freizeitverkehr und im Bereich des Nebennetzes anzuraten.

Quelle-Ziel-Beziehungen

Auch bei der Analyse der Quelle-Ziel-Beziehungen wird deutlich, dass im Vergleich der beiden Oberzentren starke Differenzen auftreten. Die absoluten Zahlen nach Abbildung 21 sind für die Quellverkehre aller Fahrten vergleichsweise gering. Auch ist eine starke Konzentration auf das Stadtzentrum zu erkennen. Alle weiteren Stadtteilzentren mit stärkerer Wohnbebauung sind ebenso aus der Kartendarstellung zu entnehmen. Auffällig ist zudem der hohe Anteil sehr gering belasteter Polygone im Stadtgebiet. Diese sind jedoch weitestgehend mit fehlender industrieller oder Wohnbebauung zu erklären. Weiterhin ersichtlich ist eine vergleichsweise hohe Anzahl von starken Quellverkehrszellen außerhalb der Stadtgrenzen. Letztlich wird hier ein Abbild der flächenhaft relativ ausladenden, jedoch stark zentralisierten Stadt Chemnitz sehr gut deutlich.

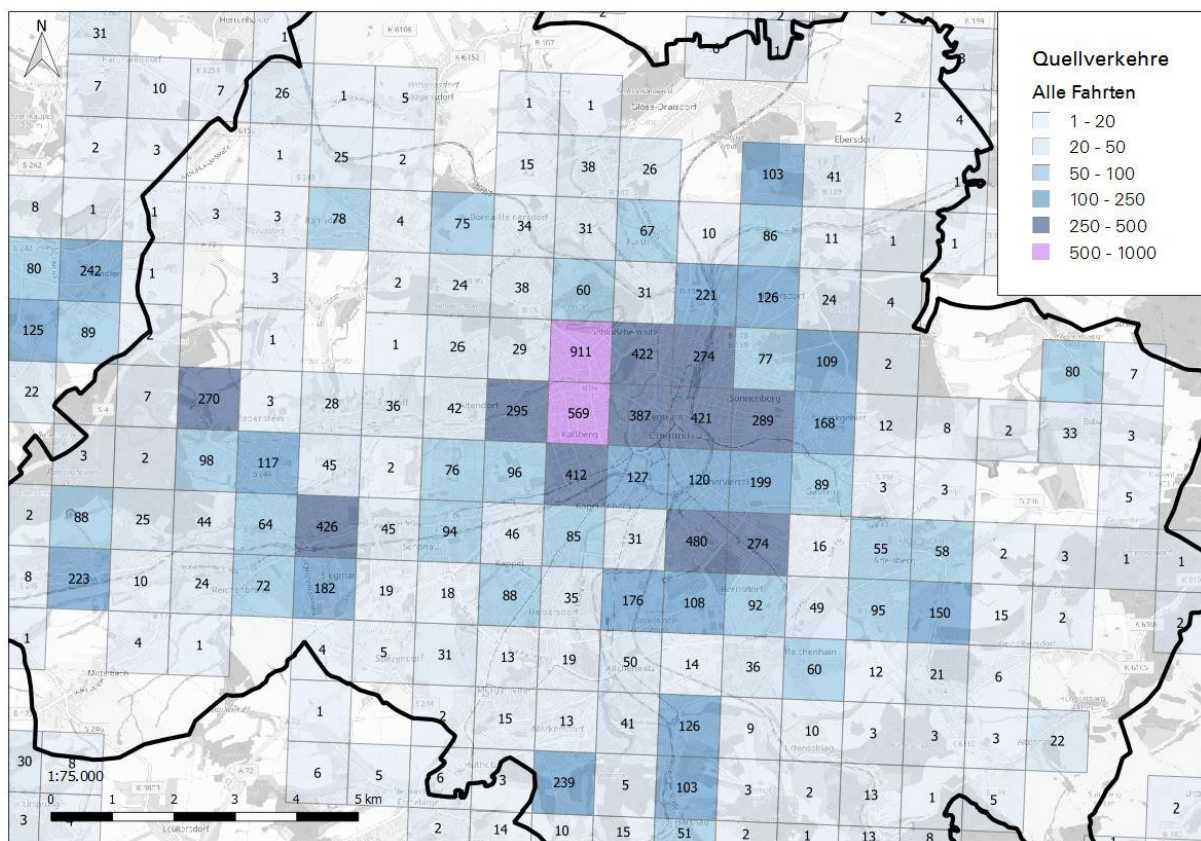


Abbildung 21: Quellverkehre für alle Strava-Fahrten in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 -06/2016), eigene Darstellung

Gleiches gilt auch für die Darstellung der Quellverkehre nach dem Kriterium der Pendlerfahrten. Hier verstärkt sich das oben angesprochene Bild nochmals. Relevante Quellen für Pendlerverkehre sind demnach die Stadtteile Zentrum, Kaßberg und Schlosschemnitz sowie Sonneberg und Siegmarsdorf bzw. Reichenbrand. Die Quellverkehrszellen außerhalb der Stadtgrenzen weisen nun jedoch ein gleichbleibend niedriges Niveau auf. Es kann also davon ausgegangen werden, dass hier in den Verkehrsmengenkarten reine Freizeitaktivitäten abgebildet sind und keine nennenswerten Pendlerverkehre stattfanden. Ausnahmen stellen die Orte Flöha und Limbach-Oberfrohna dar.

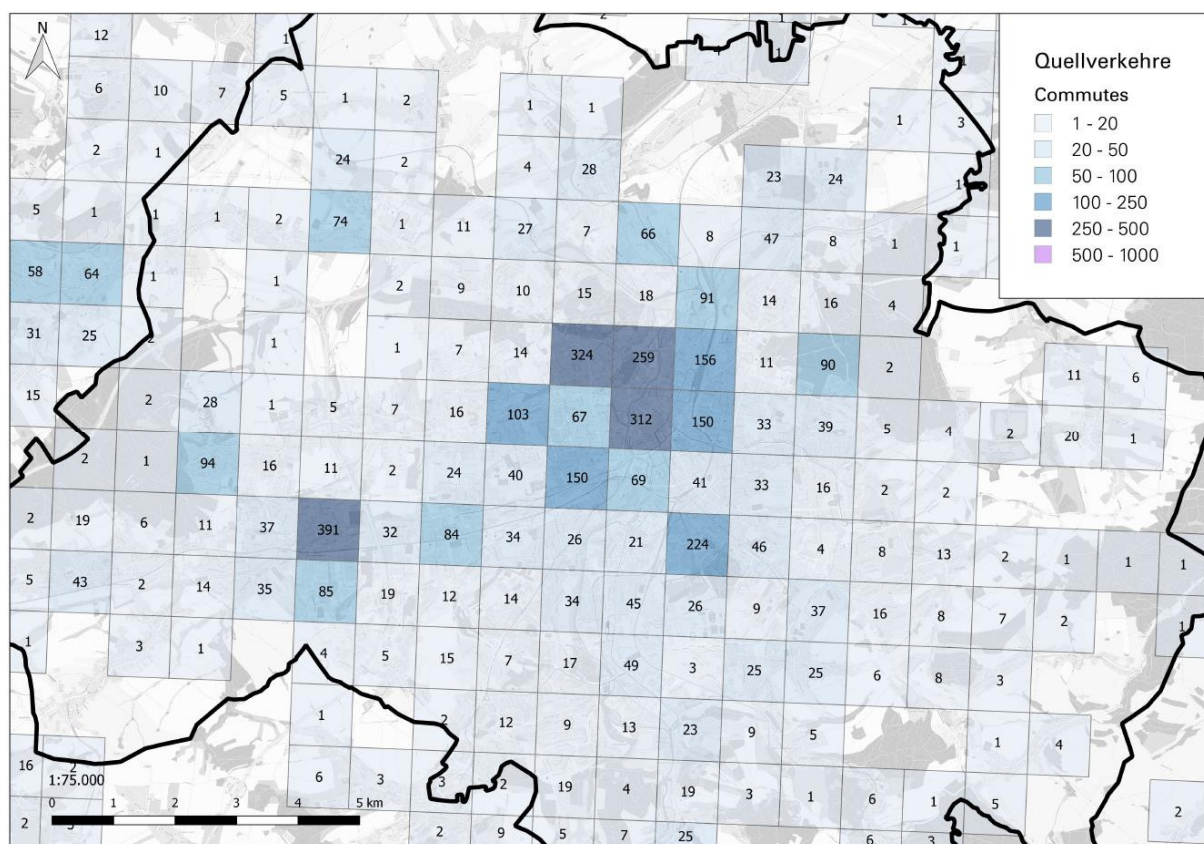


Abbildung 22: Quellverkehre für „Commute“-Fahrten in der Stadt Chemnitz (Zeitraum 06/2015 – 06/2016), eigene Darstellung

Die geringen Anteile der „Commute“-Fahrten erschweren eine Auswertung der Quelle-Ziel-Matrix deutlich. Grund dafür ist die steigende Wahrscheinlichkeit, dass Relationen durch lediglich eine Person bedient werden.

Deutlich wird dies anhand der Relationen aus der Quellverkehrszelle Chemnitz-Zentrum. Hier sind lediglich zwei Wegebeziehungen stärker ausgeprägt – in beiden Fällen legt die Anzahl der Hin- und Rückwege nahe, dass eine bzw. sehr wenige Personen die Fahrten erbracht haben. Die Aussagekraft derartiger Analysen ist somit bei vorliegender, geringer Nutzerdichte wohl eher schwach. Auch kann festgehalten werden, dass es sich bei einigen Zellen mit hohen Quellverkehrsstärken um Binnenbeziehungen handelt, d.h. sowohl Quelle, als auch Ziel liegen in der entsprechenden Verkehrszelle. Die Routen der Rundkurse führen jedoch durch weitere, umliegende Zellen. An dieser Stelle wäre eine Verknüpfung von Routendaten und Verkehrszellen sehr wünschenswert.

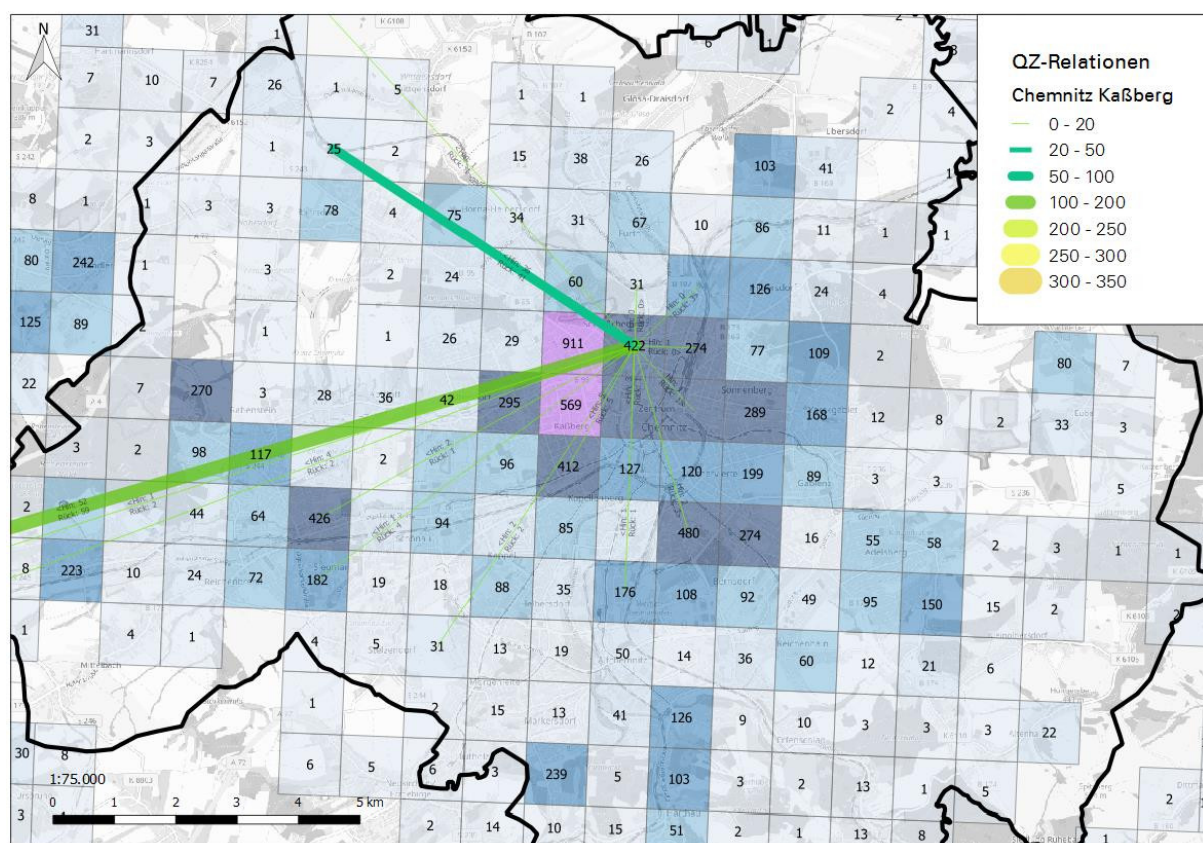


Abbildung 23: Genutzte Wegerelationen Chemnitz Zentrum (Zeitraum 06/2015-06/2016), eigene Darstellung

Fazit

Grundsätzlich erscheint der Datensatz auf Basis einer ersten Überprüfung als geeignet, sowohl für Städte mit geringer als auch für Kommunen mit höherer Nutzerdichte Aussagen über das Radverkehrsverhalten, insbesondere aber die

Nutzung von Netzkanten, zu liefern. Hier ist eine Verknüpfung mit den vorliegenden Radverkehrsanlagen durch die kommunale Verwaltung sicher sinnvoll. Eine genauere Überprüfung der Repräsentativität der Daten ist jedoch auf Basis dieser ersten Analyse dringend anzuraten und wird in Kapitel 7 diskutiert. Weiterhin ist es wichtig, auch konkrete Anforderungen und Zielstellungen der Kommunen, Radverkehrsverantwortlichen und von Fachplanerinnen und -planern zu definieren. Aus diesem Grund wurde im Folgenden eine Umfrage unter den deutschen Radverkehrsverantwortlichen bzw. den Kommunen durchgeführt. Weiterhin fanden zu diesem Zweck zwei intensive Expertenworkshops statt.

Für die Modellierung von Routenwahlentscheidungen im Radverkehr ist der vorliegende Datensatz kaum geeignet, gleichwohl erscheint eine einfache Modellierung der Verkehrsnachfrage auf Kanteniveau möglich.

5.5 Befragung der Radverkehrsverantwortlichen

Eine wichtige Grundlage für die Nutzerorientierte GPS-Datenaufbereitung und die Inhalte des Leitfadens stellen Informationen aus der tatsächlichen Planungspraxis dar.

Hierfür wurden in einem Online-Fragebogen Daten von Radverkehrsbeauftragten aus der ganzen Bundesrepublik erfasst. Es wurden Vorerfahrung mit GPS-Datenbasierter Radverkehrsplanung, die Datengrundlagen in der Planungspraxis allgemein sowie strukturelle Kennzahlen der jeweiligen Kommunen abgefragt.

Die daraus hervorgehenden Erkenntnisse dienen nicht nur der zielgruppengenaue Ausrichtung des Leitfadens, sondern ermöglichen auch bereits früh im Projektverlauf einen Abgleich der datenbasierten Projektplanung mit den praktischen Anforderungen.

Insgesamt konnten 61 vollständige Datensätze ausgewertet werden. Der Rücklauf kam aus Kommunen verschiedenster Größe, wobei auffällig viele kleine Kommunen mit unter 100.000 Einwohnern (30%) an der Befragung teilgenommen haben. Der Hauptteil der Stichprobe (54%) verteilt sich auf Kommunen mit 100.000-500.000

Einwohnern und wird durch Großstädte und die vier Millionenstädte ergänzt. Strukturell sind die teilnehmenden Kommunen sehr unterschiedlich aufgestellt. Im Durchschnitt berichteten die kleinen bis mittelgroßen Kommunen, dass nur eine Person in Vollzeit für die Radverkehrsplanung zuständig ist. Erwartungsgemäß nimmt die Zahl der radverkehrsverantwortlichen Personen mit der Größe der Stadt zu, wobei die Millionenstädte zwischen 8 und 20 Personalstellen besetzen und kleinere Kommunen zwischen 0 und 5. Generell wird ein wahrgenommener Personalmangel von den meisten Befragten berichtet.

Ausgefüllt wurden die Fragebögen überwiegend durch Sachbearbeiterinnen und Sachbearbeiter im Radverkehrsbereich aus unterschiedlichen Abteilungen, wobei das Stadtplanungsamt am häufigsten vertreten war (41%), dicht gefolgt vom Tiefbauamt (23,3%). 38% der Stichprobe ist hauptsächlich für die Radverkehrsplanung, weitere 25% für die allgemeine Verkehrsplanung zuständig. Die übrigen Personen sehen ihre Hauptzuständigkeit in anderen Teilbereichen. Den eigenen Einfluss auf die Planungsprozesse schätzt die Mehrheit (56%) aber als hoch bzw. sehr hoch ein.

Im ersten Teil des Fragebogens wurde die vorhandene Datengrundlage und -nutzung für die Radverkehrsplanung allgemein erfasst. In der Planungspraxis spielen GPS-Daten noch eine untergeordnete Rolle (vgl. Abbildung 24). Knapp über die Hälfte der Befragten (53%) kann nicht auf GPS-Daten zugreifen, wobei 43% diese gerne nutzen würden. Die meisten Kommunen stützen sich dementsprechend auf Daten aus der Unfalltypenkarte (EUSka), Kurzzeitzählungen sowie Zufriedenheits- und Verkehrsbefragungen. Informationen über Unfalldaten, Verkehrsstärken, Quelle-Ziel Beziehungen, den Model-Split und Fahrradparken stellen für fast alle Befragten die Planungsgrundlage dar.

Im zweiten Teil des Fragebogens wurden die TeilnehmerInnen über deren Erfahrungen mit GPS-Daten befragt. Nur 12 der 61 Befragten hat in der Vergangenheit bereits mit GPS-Daten gearbeitet. Besteht bereits Erfahrung mit GPS-Daten in der Planung, stufen hiervon 58,4% diese als weniger oder überhaupt nicht wichtig für die Planungspraxis ein. Das ist ein fast doppelt so hoher Anteil wie bei

Personen ohne Erfahrung (30%). Interessanterweise bewerten eben diese erfahrenen Anwenderinnen und Anwender GPS-Daten dennoch als hilfreich für ihre Arbeit. Deutlich über die Hälfte aller Befragten geben an, aufbereitete GPS-Daten für ihre Stadt gerne nutzen zu wollen. Die Werte lassen schlechte Erfahrungen in der Praktikabilität von GPS-Daten vermuten und stellen eine zentrale Erkenntnis für die Leitfadenerstellung und die Aufbereitung der Daten im Planungstool dar.

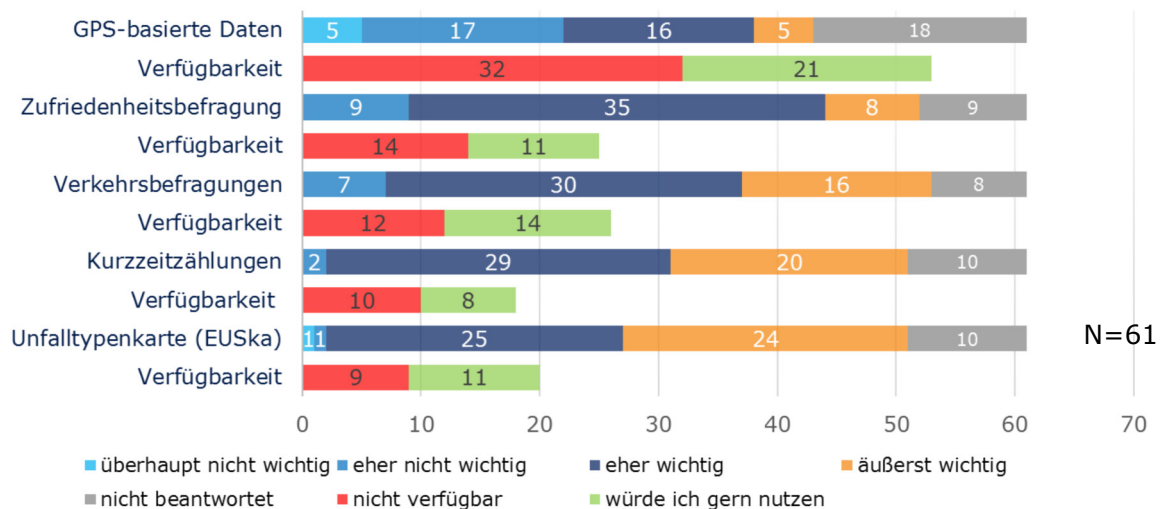


Abbildung 24: Wie wichtig sind die folgenden Datenquellen für Ihre Arbeit? (Angaben absolut, N=61)

Wie aus Abbildung 25 hervorgeht, lässt sich bei dem Thema Datenschutz und Kosten eine deutlich stärkere Skepsis gegenüber GPS-Daten bei unerfahrenen Befragten feststellen. Generell wurden Bedenken zu personellen Kapazitäten und technischer Ausstattung als häufigstes Gegenargument genannt.

Diese Erkenntnis deutet auf den Bedarf an leicht zugänglichen Daten und deren unkomplizierter Aufbereitung hin, welcher durch das Projekt adressiert wurde.

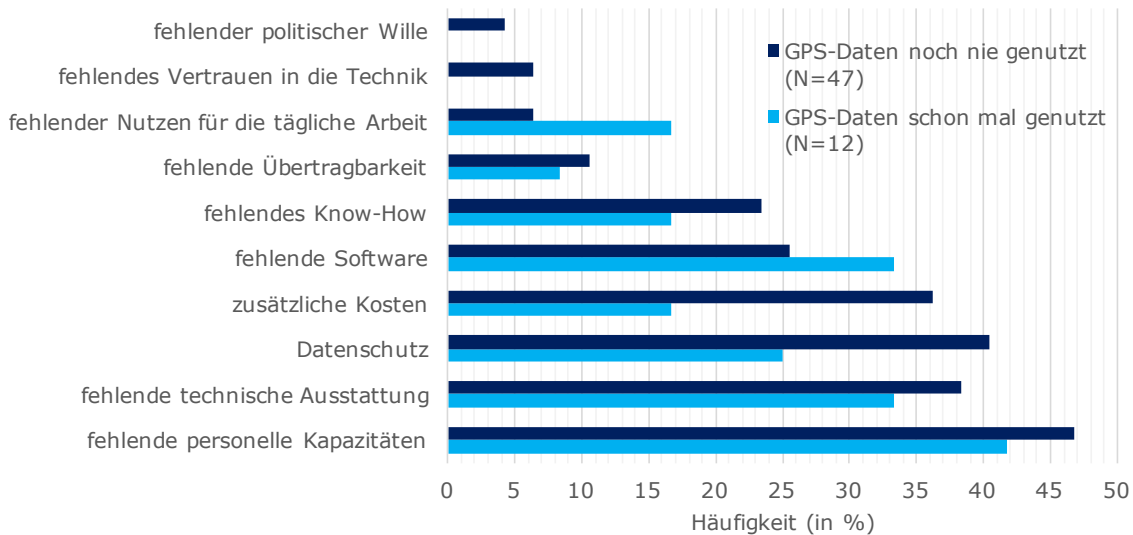


Abbildung 25: Welche Gründe sprechen gegen die Nutzung GPS-basierter Daten? (Mehrfachantworten möglich, N=59)

Infrastruktur- und Netzplanung ist für die Mehrheit der Befragten ein Haupteinsatzgebiet für GPS-Daten. Es besteht darüber hinaus ein eklatanter Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Nutzerinnen und Nutzern. Unerfahrene sehen mehrheitlich weitere Einsatzbereiche für GPS-Daten in der Verkehrssicherheit und für politische Überzeugungsarbeit während Erfahrene dabei kaum Einsatzmöglichkeiten sehen. Auch in Hinblick auf den Einsatz der Daten zur Bürgerbeteiligung und Monitoring gehen die Ansichten weit auseinander. Diese heterogenen Einschätzungen können eine Folge der unterschiedlichen Definition und Aufbereitungsstadien von GPS-Daten sein, welche dazu auffordern im Leitfaden präzise Definitionen und Einsatzmöglichkeiten mit praktischer Relevanz zu integrieren.

Zusätzlich wurde nach einem hypothetischen Jahres-Budget, welches die Kommunen für repräsentative GPS-Daten bereit wären einzuplanen, gefragt. Über die Hälfte der Befragten (65%) beantworteten diese Frage und kamen auf 2.600 € im Durchschnitt mit einem Minimum von 0 € und einem Maximalwert von 50.000€ pro Jahr.

Insgesamt weisen die Ergebnisse der Befragung darauf hin, dass bisher GPS-Daten nur eine untergeordnete Rolle in der Planungspraxis im Radverkehr gespielt haben. Über Gründe hierfür lassen die Daten verschiedene Vermutungen zu. Besonders die

geringe Erfahrung mit den Daten und kritische Faktoren wie Personalmangel und fehlenden technischen Voraussetzungen, bei einer gleichzeitigen allgemeinen Aufgeschlossenheit gegenüber den Daten, bestärkten das Projektvorhaben und gaben wertvolle Hinweise für die Aufbereitung der Daten und die Gestaltung des Leitfadens.

6. Empirische Erhebungen subjektiver Bewertungs- und Einflussfaktoren zur Routenwahl und zur Bewertung von Umwegfaktoren der Fahrradfahrenden

Im Dezember 2015 wurden zwei Fokusgruppeninterviews durchgeführt: am 02.12.15 mit der Gruppe der Alltagsradfahrenden und am 10.12.15 mit Expertinnen und Experten aus dem Forschungsbeirat des Projektes. Die wichtigsten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

6.1 Fokusgruppeninterview Alltagsradfahrende

Am 02.12.2015, 16:00-17:30Uhr trafen sich 10 Personen aus verschiedenen Alters- und soziodemografischen Gruppen um über ihre Fahrradnutzung bzw. die Nutzung von Smartphone-Applikationen beim Fahrradfahren zu diskutieren.

Die Teilnehmenden berichteten von der Fahrradnutzung in verschiedenen Situationen. Sowohl von Alltagsnutzung zur Bewältigung von Arbeits- bzw. Ausbildungswegen und Wege zum Einkaufen als auch die Nutzung des Fahrrades zu Touren und sportlicher Betätigung wurde berichtet. Insgesamt ist bei den Teilnehmenden die Zeitersparnis und Unkompliziertheit, die das Fahrradfahren mit sich bringt, von primärer Bedeutung. Besonders häufig referenzierten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auf den ÖPNV, selten auf den MIV, wenn Sie Vergleiche mit anderen Verkehrsmitteln herstellen. Besonders in der Innenstadt kämen Fahrräder dementsprechend schneller voran als andere Verkehrsmittel, sparen Zuwege zu Haltestellen und Parkplätzen und sind flexibel bzw. zeitlich unabhängig. Bezogen auf den MIV wurden besonders die Parkplatzsuche und damit verbundene Probleme als Negativargumente herangezogen. Als weiterer Vorteil des Fahrrads wurden auch dessen geringe Kosten angeführt. Darüber hinaus erwähnte

die Mehrzahl der Teilnehmenden Gesundheitsfaktoren, wie frische Luft und sportliche Betätigung durch Bewegung. Erwähnt wurde darüber hinaus auch die Umweltfreundlichkeit des Fahrrades als Verkehrsmittel.

Als Nachteile der Fahrradnutzung ergaben sich sowohl die Wetterabhängigkeit, als auch Probleme, wenn etwas sperriges transportiert werden muss. Auch erwähnte ein Teilnehmer die eingeschränkte Reichweite (ca. 10 km) des Fahrrades. Insgesamt stimmten die Teilnehmenden grundsätzlich in den gemachten Aussagen überein bzw. ergänzten sich gegenseitig.

In Bezug auf Radverkehrsinfrastruktur wurde von eigenen Erfahrungen mit konkreten Szenarien im Alltag und im Dresdner Stadtgebiet berichtet. Eine Präferenz war die Mitbenutzung der Straße, vor Allem weil so keine Bordsteine überquert werden müssen. Auch Radwege, die nicht direkt an der Straße entlang führen, wurden lobend hervorgehoben. Ein guter Untergrund, wie Asphalt, wird von einigen Teilnehmern gewünscht.

Positiv aufgefallen sind den Teilnehmenden bereits montierte Haltegriff für Fahrradfahrende an den Lichtsignalanlagen (LSA) und besondere Schaltungen, bei denen die Fahrradampel eher grün wird als die der MIV und ein vorgesetzter Haltestreifen für Fahrräder. Das frühere Umschalten der Fahrrad-LSA auf Rot hingegen wird als unangenehm empfunden, da man sich benachteiligt fühle. Weiterhin wurde berichtet, dass in Dresden Radwege häufig an kritischen Kreuzungspunkten einfach abbrechen. Dies führe zu einer berichteten Verunsicherung der Fahrradfahrenden. Weitere Probleme werden in der Interaktion mit Fußgängern bei gemeinsamen Flächen und der Mangel an Abstellplätzen mit Sicherungsmöglichkeiten gesehen. Vorgeschlagen wurde eine gesonderte Behandlung von Radfahrerinnen und Radfahrer unter Berücksichtigung von deren besserem „Rundumblick“. Hier wäre eine Lockerung von Einbahnstraßen- oder Ampel-Regelungen erwünscht.

Ob bei gemeinsam genutzter Fahrbahn Fahrradwege durch einen Streifen abgetrennt werden sollten, wurde angeregt diskutiert. Subjektiv wurde von einem

Sicherheitsgefühl durch die Streifen berichtet, Autofahrer verhielten sich eher rücksichtsvoller. Ein Teilnehmer, der im Rahmen eines Studienprojektes bereits von Messungen zur Abstandseinhaltung von Autos zu Fahrrädern mit einem negativen Effekt der Trennstreifen berichten konnte, bildete hier die Gegenposition. Durch einen breiteren Fahrradstreifen ließe sich ein Kompromiss schließen. Beschilderung in Frankreich wurde lobend erwähnt. Diese Schilder weisen auf einen Mindestabstand von 1,50m zu Fahrradfahrenden hin. Das Fahren auf der falschen Straßenseite wurde auch als verunsichernd bezeichnet und eine defensivere Fahrweise der „Falschfahrer“ gewünscht.

Darüber hinaus wurde auch hier auf Kommunikationsprobleme mit anderen Verkehrsteilnehmenden hingewiesen. Fußgängerinnen und Fußgänger überqueren häufig den Radweg ohne sich umzuschauen, PKW blinken nicht rechtzeitig und gefährden hierbei Fahrradfahrende vor allem in Abbiegesituationen. Dies überführte auch in die Problematik der generellen Sichtbarkeit von Fahrradfahrenden besonders bei Dunkelheit und fehlender Beleuchtung.

Bei der Diskussion der Radroutenwahl wurden zahlreiche Faktoren genannt, wobei die Zeitersparnis im Mittelpunkt stand. Hierbei gelten Wartezeiten an LSA als besonderes Ärgernis. Umwege werden eher akzeptiert, wenn sie entweder eine Zeitersparnis (durch Umgehung von LSA) bedeuten oder Anstrengung und Ärger durch Schlaglöcher, Pfützen, problematische Untergründe oder Steigungen vermeiden. Des Weiteren ist auch Sicherheit ein wichtiger Faktor bei der Radroutenwahl.

Insgesamt wird der Weg eher nach Gewohnheit gewählt und kleine, wenig befahrene Straßen werden Hauptstraßen vorgezogen. Diese Präferenz verstärkt sich noch, wenn kein Zeitdruck besteht. Bei fehlendem Zeitdruck werden bei Umwegen die anderen Faktoren wie Sicherheit und Attraktivität der Strecke wichtiger.

In Bezug auf die gewünschte Radfahrinfrastruktur wurden insgesamt drei Hauptbereiche angesprochen: Wegegestaltung und -kennzeichnung, Infrastruktur und Abstellmöglichkeiten. Bezüglich der Weggestaltung wurden mehrheitlich eine

höhere Radwegdichte mit geeignetem Untergrund und ohne Unterbrechung vor allem auf Hauptstraßen und deren entsprechende (farbliche) Kennzeichnung gewünscht. Bevorzugt wurden hierbei besonders die Fahrradspuren auf der Fahrbahn als auch eine Abtrennung durch Grünstreifen auf Landstraßen. Im Bereich Infrastruktur wurde für die Zukunft jedoch eher eine individuelle und separate Infrastruktur für Fahrräder gewünscht mit weniger Reglementierung als im Kraftverkehr. Darüber hinaus wurden gute Beleuchtung der Wege sowie Witterungsunabhängigkeit durch beispielsweise Überdachung gewünscht. Fast alle Teilnehmenden sprachen zudem Probleme mit Fahrradabstellanlagen an. Wichtig waren hier möglichst zentrale Lage, Sicherheit und Überdachungen. Auch Leihfahrräder-Stationen wurden in diesem Zusammenhang ausdrücklich gewünscht.

Für die Nutzung von Smartphone Applikationen, mit denen man sich bzw. seine Radrouten tracken lassen kann, sahen die Interviewteilnehmer im Alltag wenig Einsatz, da die meisten Wege bekannt seien und es fehlte die Motivation sich mit dem App-Angebot zu beschäftigen bzw. die App individuell einzurichten. Für neue Routen im Stadtverkehr konnte sich ein gewisser Nutzen vor allem zur Zeitersparnis und -kalkulation allerdings vorgestellt werden. Für den Freizeitgebrauch auf Radtouren und Sportfahrten hingegen zeichnete sich ein anderes Bild. Vorteile wurden in der komfortablen Tourenplanung, der Selbstkontrolle in sportlicher Hinsicht und der Flexibilität bei Routenänderungen während der Fahrt im Gegensatz zu herkömmlichen GPS-Geräten gesehen. GPS-Geräte zeichnen sich im Verlauf als stärkste Konkurrenten zu den Apps ab, da diese Vorteile wie längere Akku-Laufzeiten, Robustheit und Lesbarkeit mit sich brächten. Bei Fahrradtouren sei das Aufzeichnen und Anschauen der Route ein mehrfach erwähnter Spaßfaktor. Während der Fahrt selbst konnten sowohl Pro- als auch Kontraargumente gefunden werden: Zum einen ließen sich durch Routenplaner neue Routen erschließen und idealerweise Zusatzinformationen abrufen, zum anderen aber wirke das System auch als Störeinfluss beim Genuss der Landschaft, da die Tour sehr stark kontrolliert und gesteuert werde.

Zum Thema Tracking reagierten die Teilnehmer im ersten Moment mit starker Ablehnung. Sie möchten nicht nachverfolgt werden, da sie den Datenschutz kritisch sehen. Wichtig ist ihnen vor allem der Nutzen und die Verwendung der Daten. So zeigte sich im Gesprächsverlauf eine größere Bereitschaft für Tracking zu verkehrsplanerischen bzw. wissenschaftlichen Zwecken, welche dem „großen Ganzen“ diene. Auch der individuelle Nutzen wie Kalorienzählung, personalisierte Routenempfehlungen (Sportlerinnen/Nicht-Sportler) oder Motivation (z.B. „...diese Routen sind bereits x Personen gefahren.“) war wichtig. Nutzungsverstärkungen durch Boni bei Krankenkassen wurde im Rahmen von Belohnungen (nicht Strafen) als interessant angesehen, es wurde aber auch die Gefahr der Datensammlung als auch eines Kurswechsels in der Zukunft gesehen, in dem Unsportliche mit Strafen rechnen könnten. Die Teilnehmenden kannten bzw. nutzten die folgenden Applikationen: OSMN, CoPilot, RunTastic, STRAVA und NavFree.

6.2 Fokusgruppeninterview Experten im Radverkehr

Das Fokusgruppeninterview mit den Experten fand im Rahmen des Forschungsbeiratstreffens statt am 10.12.2015; 13:00-16:30 Uhr.

Teilnehmende:

Prof. Dr. Gerhard-Axel Ahrens (*TUD Professur für integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik*)

Dr.-Ing. Thilo Becker (*TUD Professur für Verkehrsökologie*)

Prof. Dr.-Ing. Udo Becker (*TUD Professur für Verkehrsökologie*)

Angela Francke (*TUD Professur Verkehrspsychologie*)

Michael Haase (*ISUP Dresden GmbH*)

Prof. Dr. Carmen Hagemeister (*TUD Professur Diagnostik und Intervention*)

Daniel Kofler (*Bike Citizens*)

Konrad Krause (*ADFC Sachsen*)

Sven Lißner (*TUD Professur für Verkehrsökologie*)

Nora Ludwig (*Radverkehrsbeauftragte der Landeshauptstadt Dresden*)

Dr. Matthias Müller (*TUD Professur für Geoinformatik, PIKOBATES*)

Jan Rickmeyer (*Radverkehrsbeauftragter der Stadt Leipzig*)

Lisa-Marie Schaefer (*TUD Professur Verkehrspsychologie*)

Dr.-Ing. Falk Richter (*TUD Professur Verkehrsökologie*)

Elke Clarus (*TUD Professur Verkehrsökologie*)

Zu Beginn wurde über die Faktoren, welche die Radroutenwahl beeinflussen, auf Meta-Ebene, aus Expertenperspektive und vom Standpunkt eigener Erfahrungen als Radfahrende diskutiert. Die Routenführung war ein stark diskutiertes Thema. Ein erstes Ergebnis: Die Qualität der Radverkehrsanlagen ist ausschlaggebend für die Routenwahl, da deutlich geringeren Zwängen unterliegt als beispielsweise der Kfz-verkehr. Die Routenwahl findet meist habituiert statt. Dementsprechend kann eine gute Routenführung auch zu einer verstärkten Radnutzung führen. Als relevante Faktoren bei der Routenwahl wurden neben der Gewohnheit und Ortskenntnis besonders der Zeitfaktor und die damit verbundene Routenführung herausgearbeitet.

Eine objektiv verkürzte Reisezeit ist hierbei vor allem von der Politik zu steuern. Diese ist auch ein wichtiges Argument um MIV-Nutzende vom Umstieg auf das Fahrrad zu überzeugen, da so auch weitere Wege für das Fahrrad attraktiv werden. Wenn ein schnelles Angebot vorhanden ist, wird auch mehr Rad gefahren (bspw. hat eine verdoppelte Nutzungshäufigkeit eine Verdreifachung der zurückgelegten Distanzen zur Folge). Neben der Reisezeit ist auch der Verkehrsfluss zu verbessern. LSA wurden in der Diskussion klar als Störfaktoren identifiziert, besonders da diese vielerorts auf den MIV abgestimmt sind. Es werden sogar, so die Expertenmeinung, Umwege in Kauf genommen, um LSA zu umfahren. Die Verkehrsnetz- und Knotenplanung sind dementsprechend relevante Themen, die auf Expertenebene entschieden werden müssen. Auch die „Grüne Welle“ für Radfahrende wurde diskutiert. Hier ist aber eine zu starke Unterscheidung zwischen verschiedenen Radfahrer-Typen nicht zielführend, und es muss ein Mittelweg gefunden werden,

der möglichst viele Radfahrende mit einbezieht. Allgemein wurde im Zuge der Expertengespräche die Notwendigkeit der Typisierung verschiedener Nutzergruppen mit jeweils stark abweichenden Bedürfnissen mehrfach betont. So sind beispielsweise ältere Fahrende mutmaßlich deutlich stärker sicherheitsorientiert, jüngere hingegen legen mehr Wert auf Schnelligkeit, aber auch die Aufenthaltsqualität einer Strecke kann ein Kriterium sein. Insgesamt spiegelte sich in den Kommentaren ein „Angebot steuert Nachfrage“-Ansatz wieder. Eine qualitativ gute Radinfrastruktur führt dementsprechend zu einer verstärkten Nachfrage.

Als nächster Punkt wurden die Gestaltungsmerkmale für eine idealtypische Radfahrinfrastruktur diskutiert. Bei einer kompletten Stadt-Neuplanung sind beispielsweise ganz andere konzeptionelle Maßnahmen denkbar, in der Realität ist aber von bestehenden Städten mit raumplanerischen Zwangspunkten auszugehen. Starke nationale Unterschiede machen die Beantwortung dieser Frage darüber hinaus schwieriger. Dänemark und die Niederlande sind hier als verschiedenartige Planungsansätze anzuführen. Der dänische Ansatz konzentriert sich stärker auf Radrouten neben dem MIV-Netz, während der niederländische Ansatz Nebenstrecken für den Radverkehr erschließt. Die Experten waren sich einig darin, dass eine Kombination beider Ansätze gangbar sei, wobei Knotenpunkte des MIV- und des Radverkehrsnetzes sorgfältig geplant werden müssen. Die Gemeinde Houten in den Niederlanden wurde für diesen Ansatz als Positiv-Beispiel genannt. Dort sind die Wege sehr breit angelegt, was besonders den Radfahrenden zu Gute kommt. Parksysteme wurden angesprochen und in diesem Falle über ausreichend separate Fahrradparkanlagen geregelt.

Ein weiterführender Gedanke – die Verringerung der Attraktivität des MIV entsprechend dessen erhöhter Abgas- und Lärmemissionen sowie Flächenverbrauchs im Sinne eines Push&Pull-Ansatzes – wurde zudem formuliert. Nur so könne die Radverkehrsinfrastruktur effektiv verbessert werden. Dieser Gedanke stieß innerhalb der anwesenden Experten nicht ausschließlich auf Zustimmung. Auch der multimodale Verkehr ist demnach eine wichtige Säule und in der Förderung nicht zu vernachlässigen. Entsprechend ist eine reine Planung aus der

Radverkehrsperspektive laut den Expertinnen und Experten nicht zielführend. Der Großteil des Straßennetzes sollte zwar aus Erschließungs- und Sammelstraßen bestehen, allerdings sollte auch ein Netz aus Vorbehaltsstraßen bestehen, die zwar Radfahrstreifen beinhalten, aber auf die stadtverträgliche Geschwindigkeit des PKW-Verkehrs ausgelegt sind. Ein Umdenken von Straßennetz zu Grünraumnetz ist ein anderer denkbarer, vor allem raumplanerischer, Ansatz. Durchgängige Grünraumkorridore sollten sich hier durch die Stadt ziehen und einen Rahmen für die Entfaltung des Fuß- und Radverkehrs bieten. Einigkeit bestand darin, dass der MIV eher restriktiv behandelt werden sollte. Diese Überlegung fußt vor allem auf dem Beispiel der Kleinstadt Grechen in der Schweiz, wo Parkmöglichkeiten für den MIV am Ortseingang geschaffen wurden und dieser nur mit Sondergenehmigung Einfahrt in den Ort erhält. Kreative Lösungen, welche auch den MIV einschränken sind demnach wichtig in ihrer Umsetzbarkeit jedoch nicht universell anwendbar.

Im Hinblick auf ältere Radfahrende wurden Radverkehrsstrukturen, in denen „keine Autotür aufgehe“ und „regelmäßig Laub gefegt werde“, erwähnt. Laub sei ein wichtiges Thema für das Sicherheitsempfinden dieser Bevölkerungsgruppe. Diese Aussage lässt sich auch auf Schneeglätte, als die Notwendigkeit eines Winterdienstes auf Radverkehrsanlagen, ausweiten.

Die Routenführung war außerdem ein stark diskutiertes Thema, dass verschiedenen Ansätzen und Philosophien folgt. Eine Aufteilung in Haupt- und Nebenrouten wird vom Expertengremium allgemein gewünscht. Die Leistungsfähigkeit an Knotenpunkte muss zudem auch aus der Radverkehrsperspektive geplant werden. Immer wieder wird festgestellt, wie wichtig der Einfluss der Politik auf Entwicklungen im Radverkehr ist. Hierfür seien gute Datengrundlagen besonders für Argumentations- und Überzeugungsstrategien wichtig.

Der letzte Diskussionspunkt zielte auf die Nutzung von Smartphone-Applikationen für die Radverkehrsplanung ab. Bei der Beantwortung der Frage bezogen die Experten sowohl ihre persönliche, als auch die planerische Perspektive mit ein. In der Planungspraxis könnte der Einsatz von GPS-Massendaten ein sinnvolles Werkzeug werden, wenn die Repräsentativität gewährleistet ist, so die einhellige Meinung.

Dieser Punkt wird von den Praktikerinnen und Praktikern unter den Teilnehmern jedoch wie erwartet eher kritisch bewertet. Aus wissenschaftlicher Perspektive wird eine gute Repräsentativität als zukünftige Zielsetzung gesehen und aus diesem Grunde nicht als Einschränkung. Besonders seismographische Veränderungswerte werden hier als große Stärke der App-Daten angeführt. Diese werden als besonders wertvoll bei der Evaluation von Maßnahmen (Zuwächse, Veränderungen) eingeschätzt. Diese Informationen gehen aus herkömmlichen Erhebungsinstrumenten, wie Haushaltsbefragungen, aktuell nicht in dieser Form hervor. Auch Knotenpunktverläufe und Matrizen könnten auf dieser Basis angefertigt werden, wohingegen eine Netzplanung als eher schwierig eingeschätzt wurde. Von Vorteil ist der Einsatz der Daten besonders auch als verkehrspolitisches Instrument. Hier punkten sie durch ihre argumentative Stärke, z.B. durch Heatmaps, welche im Vergleich zu bisher verfügbaren, punktuellen Verkehrsmengenkarten eine starke visuelle Kraft haben.

Das Thema Datenschutz wird durch die Expertinnen und Experten allgemein eher kritisch gesehen. Generell werden Bedenken gegen Datensammlung und -preisgabe geäußert, allerdings gleichzeitig zugegeben, dass selbst Smartphones und einschlägige Apps bereits genutzt werden. Hieraus ergibt sich eine ambivalente Haltung mit dem Fazit, dass die Verbreitung der Datensammel-Praxis auch von planerischer und wissenschaftlicher Seite genutzt werden sollten. Abgewogen werden sollte dabei zwischen Datenspeicherung, -übertragung, -verschlüsselung und Nutzen, vor allem durch dessen Nähe zur Vorratsdatenspeicherungs-Debatte.

Im Laufe eines bewusstseinsbildenden Prozesses in der Bevölkerung ist ein Trend von der Zentralisierung (alle Daten werden zentral von wenigen Unternehmen gesammelt) zu einer Dezentralisierung der Daten (Daten verbleiben auf dem Gerät des Datengenerierenden) zu beobachten. Dadurch werden OpenSource-Projekte langfristig als zukunftsweisend eingeschätzt. Argumentativ entgegengesetzt wurde hier allerdings die geschickte Vermarktung und rapide steigende Anzahl datengenerierender Apps, was diesen Trend abschwächen könnte. Insgesamt beziehen sich die Zweifel besonders auf die unklare Gesetzeslage rund um das

Thema Datenschutz und befürchtete Schwächen in der Repräsentativität der Daten. Chancen werden besonders in der innovativen Möglichkeit der Datensammlung gesehen, die in Hinblick auf aktuelle Trends auf ihre Verwendbarkeit untersucht werden sollte.

6.3 Routenwahlentscheidungen von Radfahrenden

Für ein umfassendes Verständnis von Routenwahlentscheidungen von Radfahrerinnen und Radfahrern wurde im Rahmen einer Vorstudie eine Untersuchung zu der Wichtigkeit ausgewählter Streckenmerkmale in diesem Kontext durchgeführt und mit der Beschaffenheit der gewählten Routen verglichen. Eine Befragung von 239 Dresdner Radfahrenden nach dem Einfluss ausgewählter Streckenmerkmale auf ihrer Routenwahl und den Eigenschaften ihrer gewählten Routen wurde im Straßenraum durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden die Bewertung (stated-preference) und die offenbarte Präferenz (revealed-preference) miteinander verglichen und Ableitungen zu möglichen Zusammenhängen formuliert.

Auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche unter Hinzunahme von Erfahrungen aus unterschiedlichen Erhebungen zu dem Routenwahlverhalten von Radfahrenden wurden Streckenmerkmale mit einem starken Einflusspotenzial herausgearbeitet.

Folgende zehn Streckenmerkmale wurden für die Untersuchung ausgewählt:

- Präsenz von Radwegen/Radfahrstreifen
- Glatte, asphaltierte Oberfläche
- lärm- und abgasarme Strecke
- kürzeste Route zum Ziel
- geringe Anzahl von Ampeln
- aufgelockerte Bebauung/naturnahe Umgebung
- wenig Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer (VT)
- Tempo-30-Zone
- geringe Steigung

- geringe Anzahl von Anhaltevorgängen

Der Fragebogen ist in drei thematische Blöcke aufgeteilt: Im ersten Fragenblock wird die allgemeine Bedeutung der zehn präsentierten Streckenmerkmale für die Routenwahlentscheidung der Befragten ermittelt. Die Bewertung der Streckenmerkmale durch die Befragten erfolgte auf einer bipolaren, 5-stufigen Intervallskala mit kodierter Skalenbezeichnung. Im zweiten Fragenblock werden die Hauptroute und eventuell bekannte und benutzte Alternativrouten digitalisiert. Des Weiteren sollen sowohl das wichtigste negative als auch positive Streckenmerkmal der Route erfasst werden. Im letzten Fragenblock werden soziodemographische Merkmale zur Beschäftigung, dem Alter, dem Fahrtzweck und dem Geschlecht der Befragten erhoben.

Der Fragebogen wurde nach einem Pretest optimiert und durch mehrere Interviewerinnen und Interviewer an ausgewählten Standorten in Dresden zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Mit einer Ausschöpfungsquote von ca. 80% konnten 239 Radfahrerinnen und Radfahrer (47% weiblich; Alter $\bar{x}=39$) befragt und in die Analyse eingeschlossen werden. Von 218 Radfahrerinnen und Radfahrer wurde auch die gewählte Route erfasst und ausgewertet.

Die Gruppe der Befragten im Alter zwischen 27 und 45 Jahren ist in der Stichprobe unterrepräsentiert. Diese Altersgruppe besteht überwiegend aus Erwerbstätigen.

Die Bewertung der Streckenmerkmale wurde gewichtet. Der Normalwert wurde auf 1 festgelegt, wobei Werte >1 eine überdurchschnittliche Gewichtung darstellen (siehe Abbildung 26).

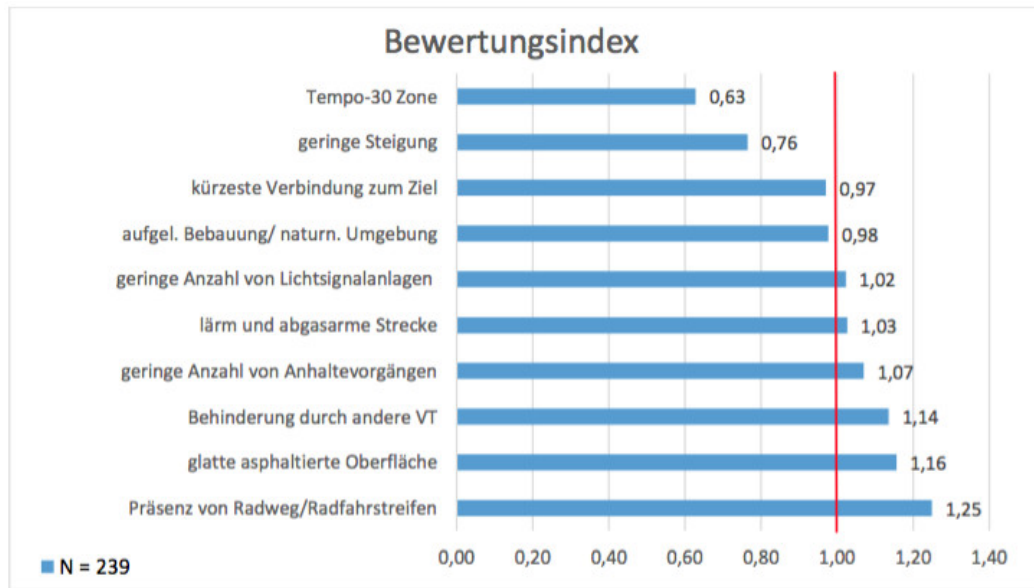


Abbildung 26: Bewertungsindex der allgemeinen Streckenmerkmale

Entsprechend hatte die *Präsenz von Radwegen bzw. Radfahstreifen* im Durchschnitt die höchste Wichtigkeit bei der Streckenauswahl (1,25) gefolgt von *glatter asphaltierter Strecke* (1,16) und *Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmer* (1,14). Frauen ist die Präsenz von Radverkehrsanlagen etwas wichtiger als Männern und es können Unterschiede in der Priorisierung der Präferenzen zwischen Vielfahrenden, Ganzjahresfahrenden und Sommerfahrenden festgestellt werden. Geringere Fahrzeuggeschwindigkeiten in Form einer Tempo-30-Zone sind das unwichtigste Streckenmerkmal für alle Befragten. Diesem Merkmal kam der niedrigste Rang in allen Kategorien zu und er hat auch den niedrigsten Bewertungsindex. Dennoch besteht zwischen der Bewertung der *Tempo-30-Zone* und einer *lärm- und abgasfreien Strecke* ein schwacher signifikanter Zusammenhang. Diese Erkenntnisse entsprechen weitestgehend denen aus der Literatur.

Die Frage nach dem wichtigsten positiven und wichtigsten negativen Merkmal der Haupt- und Alternativroute wurde nur von Radfahrenden, deren entsprechende Route bekannt bzw. digitalisiert war, analysiert (siehe Abbildung 28). Das am häufigsten genannte positive Merkmal der *Hauptroute* war die Umwegfreiheit (26 %). Mehr als ein Viertel der Befragten gaben an, als ihre gewählte Strecke die

kürzeste Route zum Ziel gewählt zu haben. 22 % hatten die auf ihrer Hauptroute befindlichen Radverkehrsanlagen als positivstes Merkmal in Erinnerung, während 10% auch das Fehlen dieser als wichtigstes negatives Merkmal nannten. Bei der Beschreibung der *Alternativroute* wurde am häufigsten (22 %) das naturnahe bzw. aufgelockert bebaute Umfeld ihrer Strecke als positiv wahrgenommen, wohingegen es nur drei Nennungen (2 %) als negatives Merkmal gab. Über die Hälfte der Befragten (52 %) nahm die Strecke als kürzeste Verbindung zum Ziel wahr, und 47 % als längere Route zum Ziel.

Wurde als wichtigstes positives Merkmal der Alternativroute die Umwegfreiheit genannt, so wird in 40% der Fälle die Verkehrsstärke als negativ wahrgenommen. Wurde jedoch das Umfeld als wichtigstes positives Merkmal genannt, waren zu

jeweils 20 % der Umweg und die fehlende Qualität des Belages als negativstes Merkmal genannt. Mögliche Schlussfolgerungen, z.B. dass die Verkehrsstärke gegenüber der Streckenlänge einen höheren Einfluss auf die Routenwahl hat, können nur mit Hilfe detaillierter Streckeninformationen getroffen werden. Durch eine genaue Analyse der Alternativrouten kann dieser Abwägungsprozess der Radfahrenden modelliert werden.

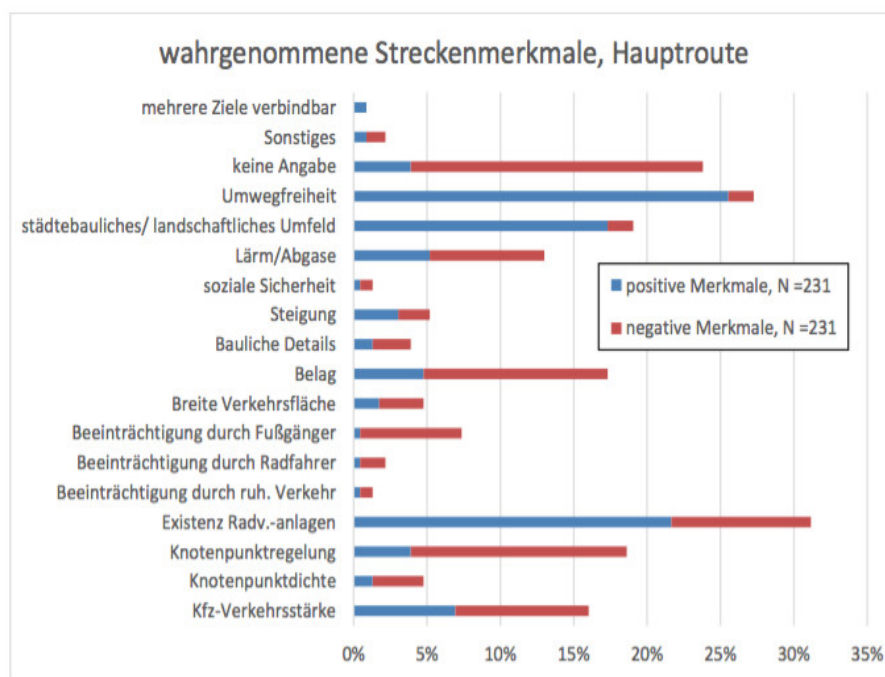


Abbildung 27: Häufigkeit wahrgenommener Streckenmerkmal, Hauptroute

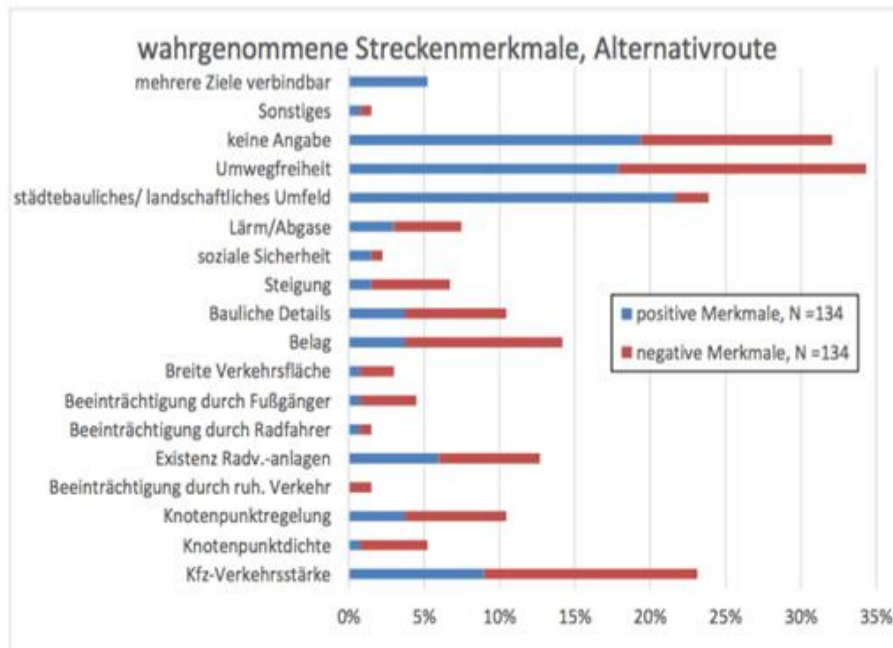


Abbildung 28: Häufigkeit wahrgenommener Streckenmerkmale, Alternativroute

Die *Umwege* der Radfahrenden wurden als relative Umwege durch Division der zugehörigen Streckenlängen zur jeweiligen Bezugsroute errechnet. Mehr als 70% der Hauptrouten hatten nahezu keinen Umweg gegenüber der kürzesten Route. Tatsächlich waren nur zu 41% die Hauptrouten länger als die Alternativrouten; 14 Befragte hatten sich bei der Wahrnehmung der Distanz verschätzt.

Die Befragten wählen im Mittel sehr direkte Wege zum Ziel. Über 30% der Wege sind identisch mit der kürzesten Verbindung zum Ziel. Die gute Netzkenntnis, repräsentiert durch die hohe Radfahrhäufigkeit, erklärt die geringen Umwege und zeigt sich auch in der häufigen Nennung der Umwegfreiheit der Hauptroute als positivstes Merkmal. Die Radfahrende kennen und wählen die kürzeste Route zum Ziel. Eine Korrelation nach Spearman zeigt mit einem Koeffizienten von 0,19 einen signifikanten, aber eher schwachen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Radfahrens und dem relativen Umweg. Durch die geringe Anzahl der Seltenfahrer in der Stichprobe lässt sich dieser Zusammenhang nicht statistisch beweisen, aber die Richtung ist zu erkennen. Zwischen dem Alter der Befragten und den gewählten Umwegen besteht kein signifikanter Zusammenhang.

Die Häufigkeit der Nennung von Umwegfreiheit als wichtigstes wahrgenommenes Merkmal ist vor dem Hintergrund des unterdurchschnittlichen Bewertungsindex auffällig. Das scheinbare Paradox ist mit der Nutzung habitualisierter Routen zu erklären. Bei geringen Aufwandsunterschieden kommt es dementsprechend nicht zu einem Routenwechsel. Die Routen der Radfahrenden in der Stichprobe verlaufen größtenteils entlang von (Fahrrad-) Verkehrsachsen. Sie sind dadurch nahezu die kürzesten Verbindungen und mit Radverkehrsanlagen ausgestattet. Bei den Kriterien für die Auswahl von Routen steht die Präsenz von Radverkehrsanlagen vor der kürzesten Strecke. Die Sensibilität für Streckenlängen insbesondere von Vielfahrern ist dennoch hoch. Aufgrund der überwiegend positiven Nennungen auf der Hauptroute, gegenüber den überwiegend negativen Nennungen auf der Alternativroute, kann angenommen werden, dass die Radfahrenden im Allgemeinen relativ zufrieden mit ihren gewählten Routen sind.

Abschließend kann die angewandte Methodik der Bewertung allgemeiner Streckenmerkmale hinsichtlich ihrer Wichtigkeit für die Streckenwahl als zweckmäßig beschrieben werden und die präferierte Ausstattung der Wege aus der Sicht der Radfahrenden abbilden. In der Stichprobe wurden sehr ähnliche Ergebnisse wie in vorangegangenen repräsentativen Erhebungen zu dieser Thematik erzielt. Radverkehrsanlagen haben für Radfahrende in stated-preference Befragungen vor der Belagsqualität den höchsten Einfluss auf die Routenwahl. Die vielfahrenden Radfahrerinnen und Radfahrer der Stichprobe besitzen eine gute Netzkenntnis und wählen überwiegend die kürzere habitualisierte Route. Die Knotenpunktregelung wird von den Radfahrenden, neben der Belagsqualität, als negativ wahrgenommen. Durch die geringen gefahrenen Umwege und die fehlenden detaillierten Streckeninformationen sind keine qualitativen Aussagen über den Einfluss einzelner Streckenmerkmale auf die Routenwahl von Radfahrenden möglich. Die Erhebungsorte (Hauptstraßen und Hauptradverkehrsrouten) haben in dieser Erhebung einen hohen Anteil an Vielfahrern in der Stichprobe zu Folge. Die Befragung der Seltenfahrer kann zusätzliche Erkenntnisse über das Potential geplanter Radverkehrsmaßnahmen hinsichtlich der Steigerung des

Radverkehrsanteils am Modal Split geben und das Bild komplettieren. Befragungen im Nebennetz sind aufwendig, doch können hier Informationen über Routenwahlentscheidungen mit größeren Umwegen gesammelt werden. Mit Hilfe einer genauen Analyse der seltener gewählten Alternativrouten können die Abwägungsprozesse der Radfahrenden bei der Routenwahl untersucht werden. Der Sicherheits- oder Komfortgewinn kann für viele Radfahrende die Umwege, z.B. einer Radroute, gegenüber der kürzeren Route nicht ausgleichen.

7. Repräsentativitätsprüfung der GPS-Daten

Gegenstand des folgenden Kapitels ist die Prüfung der vorliegenden GPS-Radverkehrsdaten auf ihre Passfähigkeit im Vergleich mit dem reell auftretenden Radverkehrsverhalten der Bevölkerung. Dies ist zum einen aufgrund des sportiven Hintergrunds der App notwendig, zum anderen angebracht aufgrund der überwiegend von Männern dominierten Stichprobe.

Nach einer kurzen Einordnung der GPS-Daten von Strava und einer Beschreibung des verwendeten Datensatzes wurden zu den anfangs definierten Planungsparametern jeweils Feldstudien durchgeführt und ausgewertet, sowie mit den GPS-Datensätzen hinsichtlich ihrer Repräsentativität verglichen.

7.1 Einordnung der GPS-Daten von Strava

Eine Unterscheidung und Einordnung von GPS-Daten im Kontext des Radverkehrs ist zunächst auf mehreren Ebenen möglich. Einerseits wären da die bewusst aufgezeichneten Routen im Zuge der Nutzung von Apps – zum anderen unbewusst aufgezeichnete Nutzerdaten wie beispielsweise die von Fahrradverleihsystemen oder bei der Nutzung von Navigationsdiensten anfallende. Für alle betrachteten Nutzerkollektive stehen analog zum eingangs beschriebenen Stand der Forschung, meist aus Datenschutzgründen, lediglich anonymisierte, aggregierte Nutzerdaten und Informationen über das erbringende Kollektiv zur Verfügung. Hier drängt sich der Vergleich zur Arbeit von Axhausen et al. (2008) auf. Der zentrale Unterschied besteht jedoch darin, dass die untersuchten Nutzerkollektive nicht nach Kriterien der

Repräsentativität ausgewählt wurden, sondern eine Autoselektion der Nutzenden durch das bestehende Angebot erfolgte. Ein erster Selektionsfaktor ist dabei natürlich der Smartphonebesitz als solcher – trotz stetig steigender Nutzerzahlen sind noch ca. 50% der Bundesbevölkerung von vorn herein aus dem Datenkollektiv ausgeschlossen. Auf einige – vor allem Kinder – trifft dies auch bei repräsentativen Befragungen zu. Eine zweite weniger restriktive Stufe der Selektion besteht in der grundsätzlichen Bereitschaft der Datenaufzeichnung und Datenweitergabe durch Nutzende. Hier sind männliche Probanden meist deutlich überrepräsentiert (Charlton, Sall, Schwartz, & Hood, 2011). Weiterhin kann auch der Wegezweck zu einer Einschränkung der Repräsentativität führen. So ist bei Apps mit sportivem Hintergrund anzunehmen, dass der Anteil der Freizeitwege überproportional hoch ist.

Für Daten aus Fahrradverleihsystemen, die zukünftig aufgrund des stark wachsenden Marktes vermehrt zur Verfügung stehen können, ist beispielsweise das Wegekollektiv mutmaßlich von kurzen Wegen innerhalb von Wegeketten oder Freizeitwegen mit touristischem Hintergrund gekennzeichnet. Bisherige Daten aus Verleihsystemen geben zudem lediglich den Ort der Ausleihe und der Rückgabe an. Dieses Vorgehen resultiert datenseitig in einer Quelle-Ziel-Matrix. Je nach Abdeckung durch Stationen und Systemaufbau, kann dabei auch ein hoher, fiktiver Binnenverkehr entstehen. Dies geschieht immer dann, wenn der Leih- und Rückgabeort der gleiche sind.

Im Fokus der vorliegenden Untersuchung stehen die Daten der App-Nutzenden, insbesondere die der amerikanischen App Strava, da diese eine hohe Aufzeichnungsfrequenz aufweisen. Anders als Verleihsysteme können diese sogar Binnenverkehr abbilden und sind somit für die Verkehrsplanung potentiell sehr gut nutzbar. Allen Datengrundlagen ist gemein, dass ohne Kenntnis über die Rohdaten, Wegeketten nur ungenügend erkannt werden, Quelle-Ziel-Darstellungen somit eher orientierenden Charakter besitzen.

Grundsätzlich lassen sich die Daten von App-Providern hinsichtlich ihres Motivations- und Nutzungskonzeptes unterscheiden. Hierbei gibt es beispielsweise Ansätze, die auf Navigation und Routenplanung basieren (vgl. Bike Citizens, BBBike, Komoot u.a.).

Es steht hier vor allem eine explorative Nutzermotivation im Vordergrund. Die Nutzergruppen sind also mutmaßlich eher heterogen, bzw. herrschen auf dieser Ebene zumindest keine Zugangsbarrieren durch körperliche Voraussetzungen vor. Zusätzlich wird bei einigen Anbietern mit einem Belohnungssystem gearbeitet. Dies kann, wie bei der Radwende-App für die Stadt Mainz, der Anreiz sein, dass für eine bestimmte Anzahl an gefahrenen Kilometern konkrete Maßnahmen für den Radverkehr umgesetzt werden. Auch sind einfache Vergünstigungen durch den lokalen Einzelhandel oder die Gastronomie denkbar. Durch diesen Ansatz werden auch Wenig-Fahrende erreicht und motiviert, ihre Fahrten aufzuzeichnen. Für ambitionierte Vielfahrende bietet dieser Ansatz jedoch eine eher nachrangige Motivation.

7.2 Einordnung Map-Matching-Algorithmus

Dem verwendeten Map-Matching-Algorithmus kommt im Zuge der Nutzung von GPS-Daten eine zentrale Bedeutung zu, ist er doch die Verbindung von Nutzerdaten zu Infrastrukturdaten der Kommunen. Wie schon im Zuge der konzeptionellen Festlegungen in Kapitel 3 und auch während der explorativen Datenanalyse in Kapitel 5 angemerkt, ist es dabei essentiell auf eine hohe Qualität der verwendeten Kartengrundlagen und des verwendeten Algorithmus zu achten, um möglichst wenig Fehlstellen oder Duplikate während der Umlegung der Fahrtdaten auf das Netz zu erzeugen. Der explizit verwendete Algorithmus wurde durch den Datenprovider Strava Inc. nicht offengelegt, so dass versucht werden musste, Einzelfahrten aus dem Datensatz zu extrahieren, um eine Aussage über die Qualität des Map-Matchings zu treffen. Dies gelang über die Erstellung neuer, individueller Sichten aus der PostgreSQL-Datenbank heraus mittels der Abfrage von sehr kleinen Zeitfenstern für das Gebiet der Pilotkommune.

Ersichtlich wurde dabei, dass es, vor allem in Innenstädten, offensichtlich größere Probleme mit dem Map-Matching gibt. Explizit nicht zu erkennen sind die genauen Fehlstellen, da es sich im Zuge der Aggregatsfunktion ausschließlich um die Netzkante handelt, auf welche einer oder mehrere GPS-Punkte gematcht wurden.

In Abbildung 29 sind beide möglichen Fehlerklassen gut ersichtlich. Entweder ein Matching findet aufgrund der bspw. zu großen Entfernung zur Kante nicht statt (siehe linke Abbildung) oder es ist möglich, dass eine Fahrt auf mehrere Kanten umgelegt wird (siehe rechte Abbildung). Durch die Wahl des Zeitfensters Tag, Uhrzeit/Tag, Uhrzeit+15min kann davon ausgegangen werden, dass es sich um nur einen Radfahrenden handelt. Hier ist es also wahrscheinlich, dass der Algorithmus auf die verschiedenen GPS-Fehler (vergleiche Absatz 2.1) nur ungenügend reagiert. So ist beispielsweise für ein nicht erfolgtes Matching das Fehlen von GPS-Punkten in der Pufferzone um die betrachtete Kante verantwortlich. Dies kann im Zuge von Signalbeugung oder Reflexion in engen Häuserschluchten vorkommen, ist also ein typisch innerstädtisches Problem. Eine Verwendung von glättenden Filtern oder dem sogenannten „Dead-Reckoning“ ist aufgrund der teils großen Datenlücken unwahrscheinlich. Es verstärkt sich der Eindruck, dass der verwendete Ansatz zum Map-Matching sehr einfach ist. Auch Adjazenzbedingungen, also der Zusammenhang aufeinanderfolgender Kanten, scheinen im verwendeten Verfahren nicht berücksichtigt zu sein.

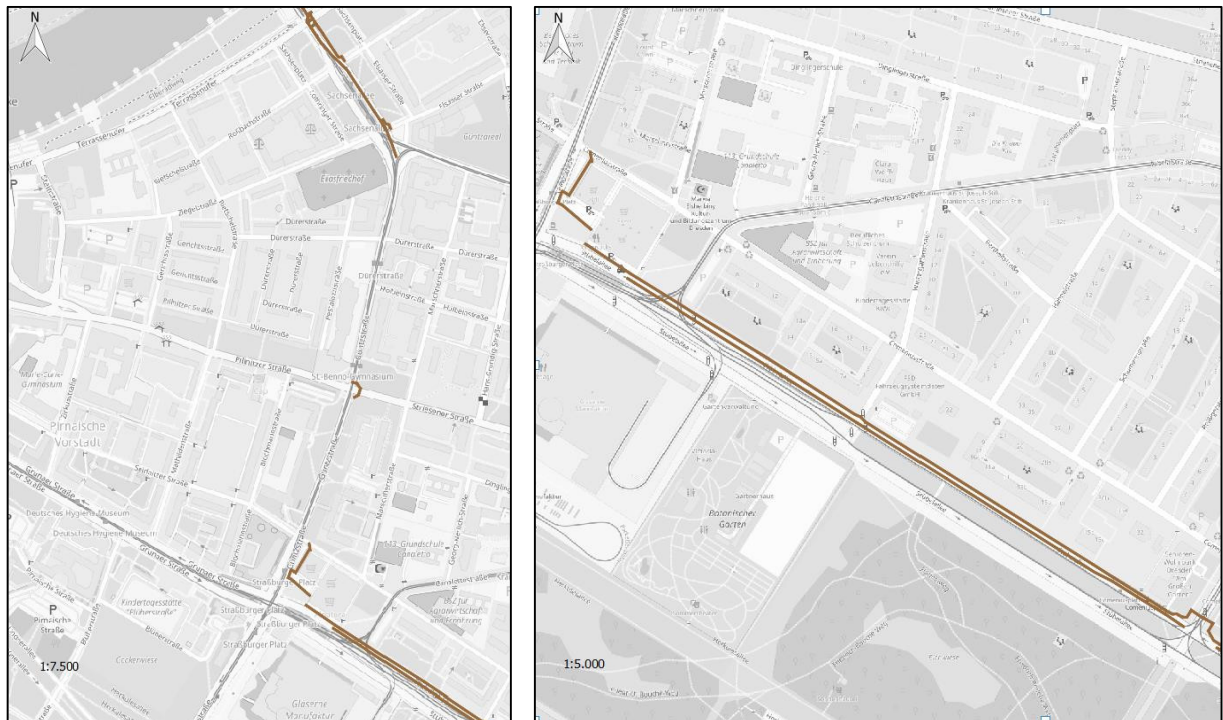


Abbildung 29: Beispiel für Map-Matching I

Es gibt, wie in Abbildung 30 dargestellt, jedoch auch Abschnitte auf denen der verwendete Ansatz problemlos funktioniert. Letztlich sind die erkannten Ungenauigkeiten beim Map-Matching dazu geeignet, unterschiedliche Phänomene der Verkehrsmengenkarte zu erklären. Leider lässt sich bis auf die Netzdichte hier kein Merkmal festhalten, was dieses Phänomen begünstigt. Die eher lückenhafte Zuordnung der Fahrten zu den Netzkanten scheint jedoch vor allem in Innenstädten eher die Regel als die Ausnahme zu sein. Der Grad der Betroffenheit variiert jedoch stark.



Abbildung 30: Beispiel für Map-Matching II

An dieser Stelle ist eine kontinuierliche Verbesserung der verwendeten Matching-Ansätze dringend anzumahnen. Es kann keine allgemeingültige Aussage für alle Anbieter getroffen werden, aber auch bekannte Produkte, wie ORSM oder Graphhopper, können sicherlich noch nicht mit allen Eigenheiten des Radverkehrs umgehen.

7.3 Befragung zum Nutzerverhalten

Der Ansatz der Firma Strava Inc. ist eher auf das Monitoring der eigenen Radfahrleistung und den Wettkampf mit anderen Sportlern ausgelegt, also in hohem Maße kompetitiv. Dies zeigt sich unter anderem durch die monatlich neu erscheinenden Herausforderungen, eine gewisse Anzahl an Kilometern zu fahren und den Wettkampfcharakter der Bestenlisten auf Wegesegmenten. Dieser Sachverhalt spiegelt sich auch in der hauptsächlich angesprochenen Nutzergruppe wieder: Die Nutzenden sind überwiegend männlich und zwischen 25 und 55 Jahren alt (Abbildung 31). Vergleichbare Ergebnisse liefern Verhaltensstudien auf biologischer oder soziologischer Ebene (Gray, McHale, & Carré, 2016).

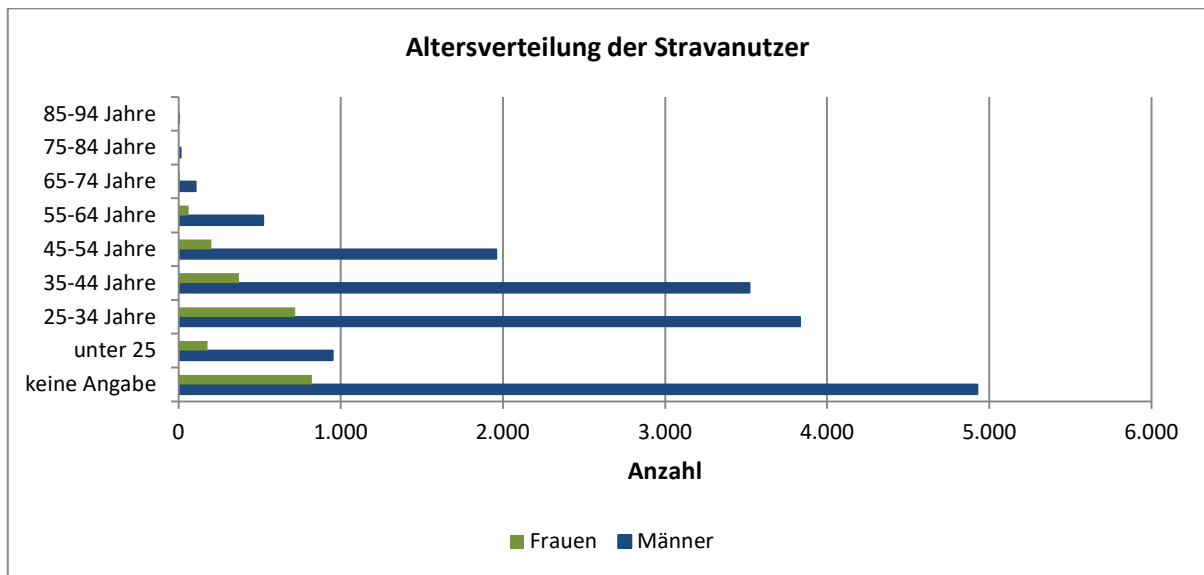


Abbildung 31: Altersverteilung der Strava Nutzer für Berlin, Brandenburg, Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern, (Stand 2015)

Diese Nutzergruppe fällt vor allem durch hohe durchschnittliche Radverkehrsleistungen⁵ auf und bildet somit nicht den eigentlichen Bevölkerungsdurchschnitt ab. Die sportlichen Nutzerinnen und Nutzer fahren voraussichtlich schneller und kompetitiver als der Durchschnittsradfahrende und auch Fahrverhalten und Routen wählen diese möglicherweise nach anderen Kriterien als Durchschnittsradfahrerinnen und -radfahrer ohne einen sportlichen Leistungsanspruch. Die App hat darüber hinaus das Potential als Motivator für eine verstärkte Fahrradnutzung zu wirken und birgt das Risiko, starke Verzerrungen durch die spezielle Nutzer-Struktur zu Folge haben. Hier stellt sich die Frage, ob dies eventuell als Ausschlusskriterium für die Qualität des Datensatzes gelten muss und welchen Einfluss die App-Nutzung auf das Verhalten der Nutzer hat.

Um diese Vermutungen in der Praxis zu untersuchen und deren Auswirkungen auf Bewegungs- und Mobilitätsmuster sowie die App-Nutzung der Strava-Kundinnen und -Kunden besser einschätzen zu können, wurde eine online-basierte Umfrage entwickelt. Diese wurde in verschiedenen Foren der Strava-Plattform verbreitet und die Community zur Befragung eingeladen. Unter den Teilnehmenden wurden als

⁵ Ø 22,4 km Fahrtweite und ein Median von 76 Min. Fahrtzeit je aufgezeichneter Fahrt.

Anreiz Gutscheine verlost. Die Befragung setzte sich aus drei Frageschwerpunkten zusammen: Der erste Teil sollte die App-Nutzungshäufigkeit und -routine erfassen und Gründe für und gegen die Aktivierung feststellen. Im zweiten Teil sollte der selbstberichtete Einfluss der App auf das Fahrverhalten festgestellt werden. Im dritten Teil werden demographische Daten der Stichprobe erhoben.

Die Stichproben-Struktur ($N = 182$; 171 männlich, 10 weiblich) mit einem Altersdurchschnitt von 34 Jahren, davon die meisten berufstätig als Angestellte ($n=128$), spiegelt die allgemeine Nutzerstruktur der Strava-App gut wieder und korrespondieren mit denen nach *Charlton et al.* (2011). Die Stichprobe nutzt die App mehrheitlich bereits seit über einem Jahr und kommt überwiegend aus Sachsen und umliegenden Bundesländern. Dies lässt sich mit der lokal verstärkten Streuung der Online-Befragung erklären.

Die Hälfte der Teilnehmenden besitzt über das Fahrrad hinaus ein eigenes Auto, nur ein Viertel eine ÖPNV-Dauerkarte. Dies lässt die Vermutung zu, dass ein großer Anteil ihrer Mobilität mit dem Fahrrad stattfindet.

Ein zentraler Faktor der Eignung der Daten für die Radverkehrsplanung ist, ob die Strava-Nutzer und -Nutzerinnen die App auch im Alltag und auf entsprechend relevanten innerstädtischen Routen einschalten oder ausschließlich zum Aufzeichnen sportlicher Aktivitäten nutzen. Auf Basis des GPS-Datensatzes konnte bereits festgestellt werden, dass viele innerstädtische Routen, wie sie auf Alltagsfahrten genutzt werden, durch die Nutzenden erfasst sind. Um einschätzen zu können, wie groß der Anteil der App-Nutzenden, die im Sinne von Alltagsrouten relevante Fahrten aufzeichnen, tatsächlich ist, ist ein Fragenkomplex besonders auf die Nutzergruppe fokussiert, welche angibt Alltagsfahrten (Freizeit, Einkaufen, Arbeiten, Ausbildung) mit der App aufzuzeichnen ($n=152$, 83,5% der Stichprobe; im Folgenden „Alltags-Nutzende“ genannt).

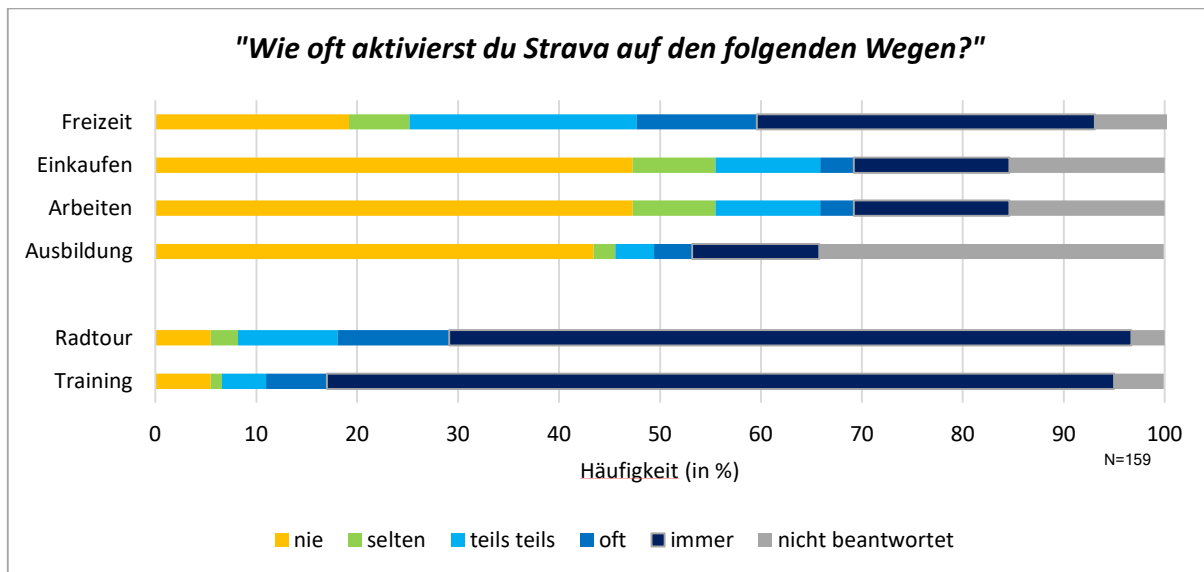


Abbildung 32: Auswertung der Befragung der Strava-Nutzenden, Aktivierungshäufigkeit je Wegezweck (Stand 06/2017; n= 159)

Abbildung 32 zeigt dabei, dass Radtouren und Training klar überrepräsentiert sind. Allerdings werden auch ca. 40% aller Einkaufs-, Arbeits-, und Ausbildungswege aufgezeichnet. Daraus ergibt sich folgende Frage: Warum werden bestimmte Wege nicht aufgezeichnet? Wie oft Alltagsnutzende das Tracking pro Woche aktivieren, differiert stark zwischen den Individuen (n=93; Min=1, Max=17). Im Durchschnitt wird die App aber auf drei Alltagsfahrten pro Woche eingeschaltet. Trainingsfahrten und Radtouren werden hingegen seltener pro Woche aufgezeichnet. Die Vermutung liegt hier nahe, dass diese Fahrten generell seltener pro Woche stattfinden als Alltagsfahrten, da 78% der Trainingsfahrten und 67,6% der Radtouren immer getrackt werden. Nur 5,5% der Befragten geben an, diese Fahrten „nie“ zu tracken. Bei Alltagsfahrten werden die regelmäßigen Fahrten zu Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz immer von 56% aufgezeichnet. Andere Freizeitwege (außer zum Einkaufen) werden von 33,5% der Alltags-Nutzenden „immer“, von 11% „meistens“ und von 22,5% „teilweise“ aufgezeichnet. Die App wird also nicht ausschließlich für Trainingszwecke genutzt, auch wenn dies der initiale Grund war. Es ist zudem damit zu rechnen, dass Alltagsfahrten zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz auch im Sinne von Wegekettten erbracht werden und somit der Wegezweck „Einkaufen“ in einigen dieser Fahrten enthalten ist. Dieser Sachverhalt

wurde nicht explizit abgefragt und wird zudem, das zeigen Befragungen wie SrV und MiD, meist nicht erinnert.

Um diesen Umstand näher zu untersuchen, wurde weiterhin gefragt, ab welcher Weglänge die App auf Alltagsfahrten eingeschaltet wird. Abbildung 33 zeigt dabei, dass eine relevante Nutzerzahl jeden Weg aufzeichnet. 18,7% der Alltags-Nutzenden lassen sich auf allen Alltagsrouten tracken, weitere 7,7% bereits ab 1km Wegstrecke. Die Mehrheit hingegen aktiviert die Tracking-Funktion erst ab 5km (24,7%) bzw. 10 km (24,7%). Diese Tendenz zeigt sich auch darin, dass auf subjektiv zu kurzen Strecken 50% der Befragten keinen Grund für die Aktivierung sehen. Obgleich auch hier unterrepräsentiert, sind sehr kurze Wege also durchaus im Datensatz enthalten.

Abbildung 34 liefert die Gründe für die Appnutzung auf Alltagswegen. Wenig überraschend stehen hier sportive Gründe an erster Stelle. Die Motivation das Tracking auch im Alltag zu aktivieren, besteht demnach vor allem darin, dass so ein Überblick über die Gesamt-Fahrleistung ermöglicht wird (85% der Antworten). Das Item „*Zum Teilen mit der Community*“ ist international mutmaßlich von deutlich höherer Bedeutung. Während im europäischen Raum die App weiterhin einen sehr sportaffinen Nutzerkreis besitzt, hat sich bspw. auf dem amerikanischen Markt diese längst als „*Facebook oder Twitter für Radfahrer*“⁶ etabliert.

⁶ O-Ton Brian Riordan, Strava.Inc (31.05.2017)

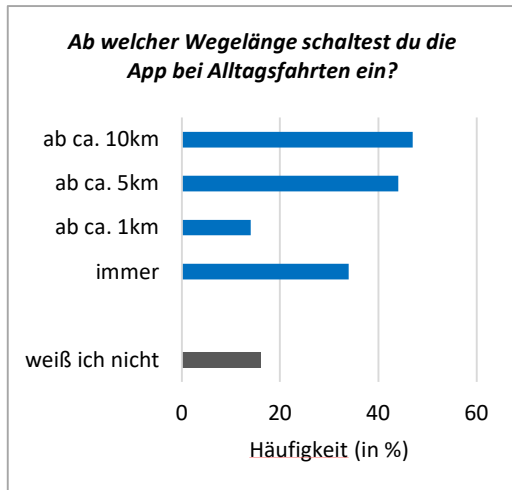


Abbildung 33: Grenzentfernung Trackingnutzung (n=156)

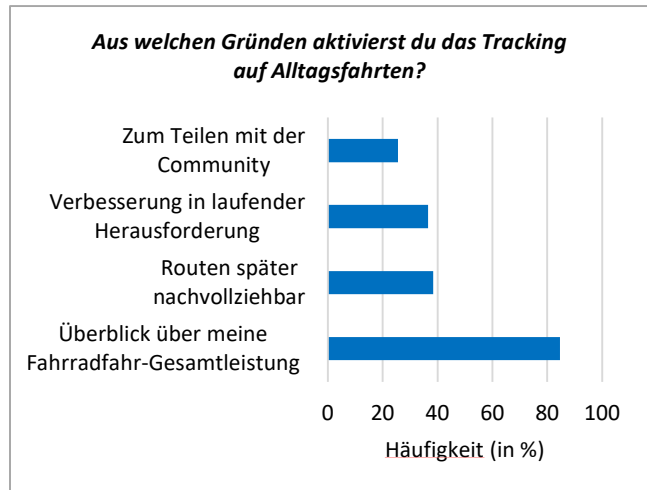


Abbildung 34: Gründe für die Appnutzung im Alltag (n=156, Mehrfachantwort möglich)

Eine tendenziell eher nachrangige Rolle für die Nutzung spielen der Umfrage zufolge Datenschutzbedenken. Wobei natürlich davon auszugehen ist, dass diejenigen Personengruppen mit den größten Bedenken eine derartige App nicht nutzen. Es zudem ist eine Sensibilisierung für das Thema beobachtbar: So nutzen mehr als 60% der Befragten die Zusatzfunktion „Homezone“, mit der in den Privacy-Einstellungen der App ein gewisser Radius, beispielsweise um den Wohnort, für die Datenaufzeichnung gesperrt wird. Dies scheint einen Grad an subjektiver Sicherheit zu erzeugen, der mögliche Bedenken abschwächt.

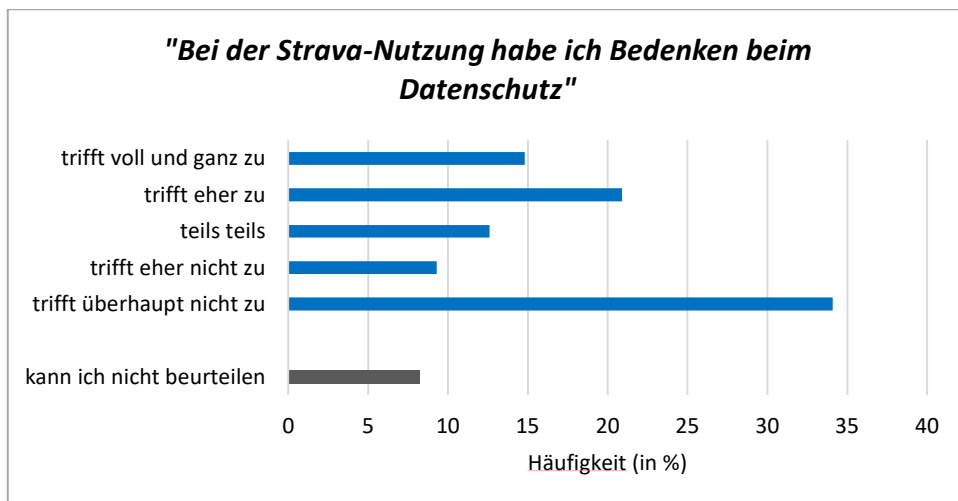


Abbildung 35: Nutzerbefragung – Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes

Das Thema *Datenschutz* und damit verbundene Risiken, wozu im Zuge der Fokusgruppen-Interviews im Vorfeld der Untersuchung besonders durch Experten (vgl. Kapitel 6.2) Bedenken geäußert wurden, schätzen die Befragten allerdings sehr unterschiedlich ein. Nach Abbildung 35 halten sich Bedenkenträger und unbesorgte Nutzer in etwa die Waage mit Tendenz zu weniger Bedenken. Der Aussage „Bei der Strava-Nutzung habe ich Bedenken beim Datenschutz“ stimmen 35% zum Teil zu. Nur 15,5% stimmen der Aussage voll und ganz zu. Dagegen beurteilt mehr als ein Drittel der Befragten, dass dieses Statement eher nicht (9,3%) oder überhaupt nicht (34%) auf sie zutrifft.

Bei der Aktivierung stehen dementsprechend für die Befragten pragmatische Überlegungen und der kompetitive Charakter der App im Vordergrund. Dieser Fragenblock zeigt außerdem, dass routinierte Alltagsstrecken, also der Weg zur Arbeit oder Ausbildungsstätte, regelmäßig aufgezeichnet werden, aber die App im Alltag auch darüber hinaus genutzt wird, wenn die Strecke nicht als zu kurz empfunden wird.

Wie eingangs beschrieben, wurde des Weiteren ein Einfluss der Strava-App auf das Radfahrverhalten vermutet. Inwiefern zusätzlich die Aktivierung der Tracking-Funktion in der Strava-App einen individuellen Effekt auf das Fahrverhalten hat, zeigt der zweite Fragenkomplex.

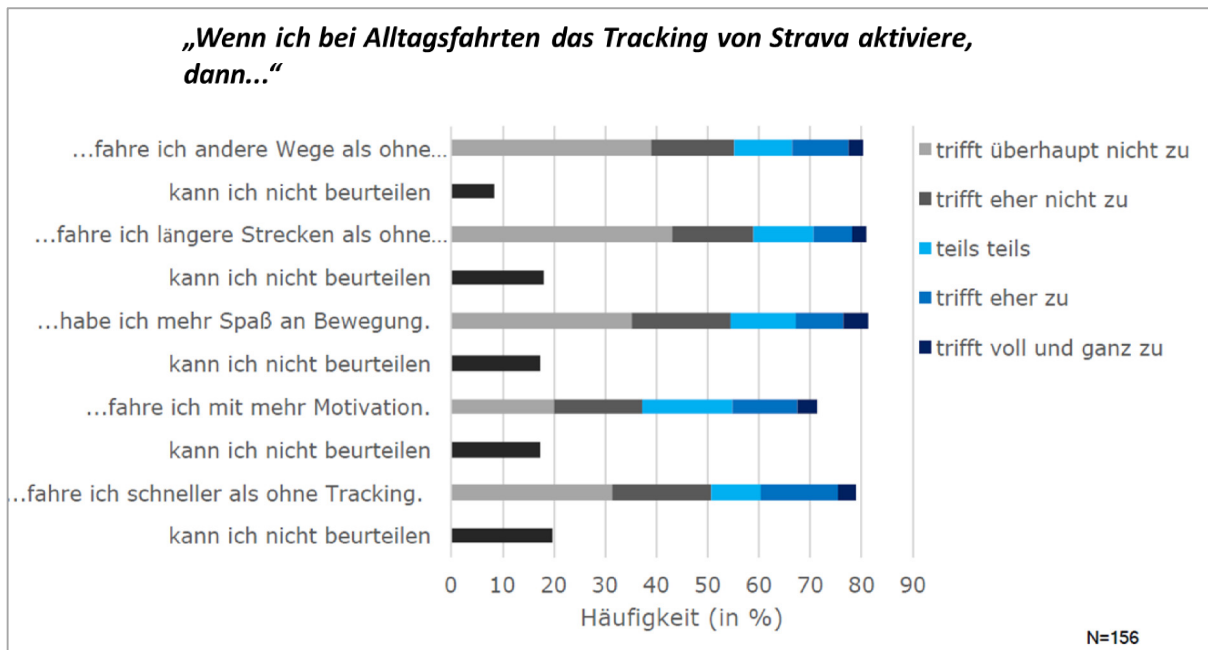


Abbildung 36: Antwort auf die Frage nach der Verhaltensänderung bei Alltagsfahrten

Auffällig ist hier der Unterschied zwischen Fahrten, welche auf Performanz ausgerichtet sind (Trainingsfahrten und teilweise Radtouren), und Alltagsfahrten. Auf Trainingsfahrten können tatsächlich 74% der Befragten einen positiven Effekt auf ihre Motivation feststellen (vgl. Abbildung 37).

Jedoch verändert sich die Routenwahl der Nutzer auf Alltagswegen nur marginal, ebenso wie die Wegelänge. Dieser Fakt ist wesentlich für die Einordnung der Strava-Daten. Denn wenn auch jene Daten, die durch den Betreiber (und den Nutzenden) als Alltagsfahrten kategorisiert werden eine deutliche Tendenz hin zu sportiven Fahrten aufweisen würden, wäre eine Nutzung des Datensatzes in der Tat kaum zu empfehlen. Wie Abbildung 37 zeigt, ist der Einfluss der App-Nutzung auf das Radverkehrsverhalten bei Trainingsfahrten zudem deutlich höher. So werden zum einen andere Wege als gewöhnlich gefahren, zum anderen sind diese weiter und die realisierte Geschwindigkeit deutlich höher. Dies ist unter anderem auch auf die höhere Nutzermotivation durch die App zurückzuführen.

Es ist also von zentraler Bedeutung, dass diese Arten von Fahrten bezüglich ihres Wegezweckes voneinander abgegrenzt werden. Streng genommen erfüllen lediglich die Alltagsfahrten die Kriterien, nach denen eine generalisierte Planung für alle

Nutzende möglich ist. Wobei auch die übrigen „Sport“-fahrten zumindest ein Gefühl für häufig genutzte Infrastruktur liefern können.

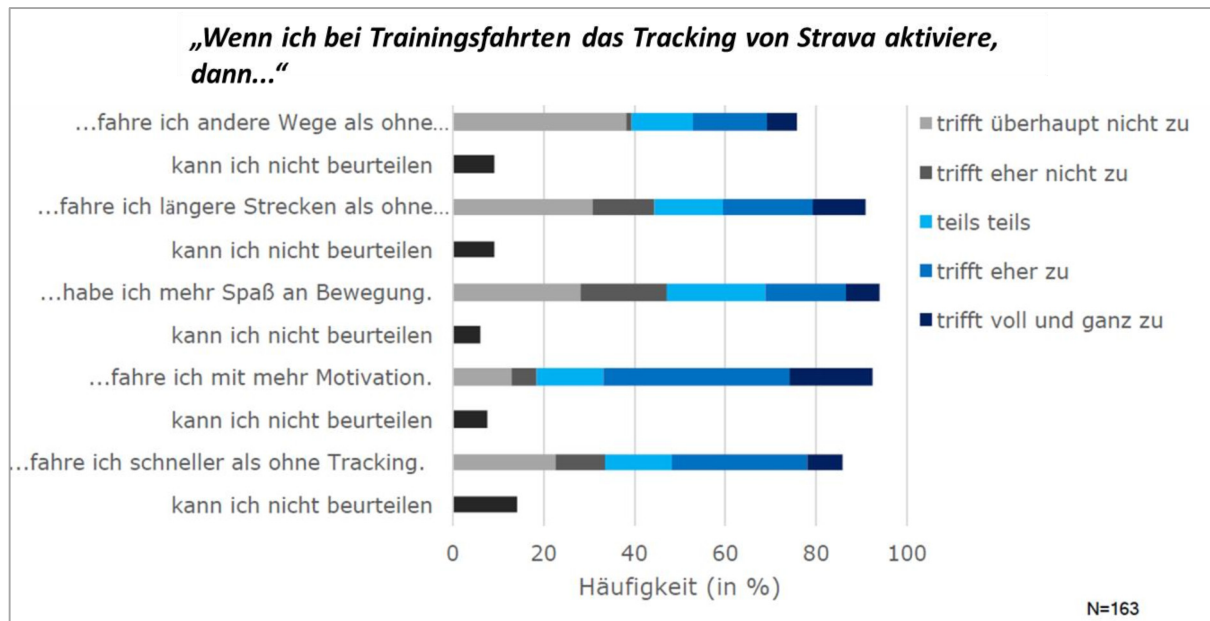


Abbildung 37: Antwort auf die Frage nach der Verhaltensänderung bei Trainingsfahrten

Die Abgrenzung der Wege geschieht durch den Datenprovider in „Commutes“ und „Alle Fahrten“. Dabei kann die Kategorisierung sowohl durch ein Markieren der Fahrten als „Commutes“ innerhalb der App erfolgen, als auch algorithmenseitig durch den Provider, genutzt wird letztendlich jedoch nur die zweite Variante. Die Häufigkeit der Verwendung der Kategorisierung durch die Nutzenden zeigt Abbildung 38.

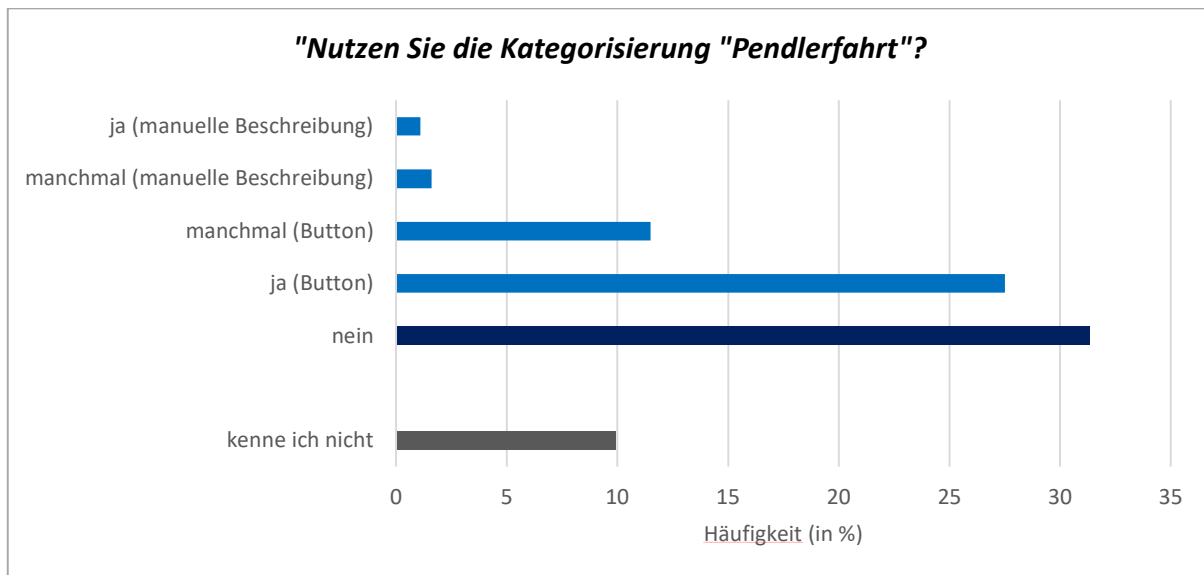


Abbildung 38: Frage: "Nutzen Sie die Kategorisierung "Pendeln" in der App?"

Dabei nutzen 77 Personen die Kategorisierung „Pendeln“, davon 74 (96,1%) auf Alltagsfahrten – also formell korrekt. Die Häufigkeit der Nutzung differiert zwischen 27% (Ja) beziehungsweise 12% (manchmal) sowie einem hohem Prozentsatz an Nichtnutzung (31%) oder Unkenntnis des Features (10%). Der Einordnung der Fahrten durch einen Algorithmus der Firma Strava kommt also eine hohe Bedeutung zu. Dieser wird gesondert in Kapitel 7.7 behandelt.

Zusammenfassend ergibt sich aus der Befragung, dass die Hälfte der NutzerInnen die Strava-App nicht nur für Sportfahrten nutzt. Mittel- und Langstrecken im Alltag – besonders der Arbeitsweg und einige Freizeitstrecken – machen einen wichtigen Anteil an dem Strava-Datensatz aus. Der Aufbau der App begünstigt hier offenbar, entgegen der Annahme, die Aktivierung des Trackings auch im Alltag und hat hier auch nur eine weitaus geringere Wirkung auf Motivation, Fahrverhalten und Routenwahl als während des Trainings.

Diesbezüglich erscheint eine Nutzung der Daten für die Radverkehrsplanung als plausibel.

7.4 Validierung der Verkehrsmengen

Verkehrszählungen im Radverkehr dienen der Ermittlung planungsrelevanter Grundlagendaten und beziehen sich im Regelfall auf Verkehrsstärken an einzelnen Querschnitten. Die Empfehlungen für Verkehrserhebungen (FGSV, 2012) zählt folgende exemplarische Anwendungszwecke für die Zähldaten auf:

- für die Planung und Dimensionierung von Radverkehrsanlagen,
- zur Konzipierung von Radverkehrsnetzen,
- zur Beurteilung von Umgestaltungen innerstädtischer Bereiche,
- für Bedarfsanalysen und Dringlichkeitsreihungen von geplanten Anlagen,
- zur Überprüfung und Verbesserung von Signalschaltungen,
- bei Unfalluntersuchungen sowie
- zur Beurteilung von Wirkungen von Radverkehrsmaßnahmen („Evaluation“).

Bisher werden Radverkehrsstärken überwiegend mit automatischen Dauerzählstellen oder mit Kurzzeitzählungen ermittelt. Bei einer guten Standortwahl und einer Durchführung unter Beachtung aller möglichen Einflussgrößen kann davon ausgegangen werden, dass dabei alle Nutzergruppen im Radverkehr erfasst werden. Anders sieht es bei Smartphone-basierten Erhebungen aus. Mittelfristig ist davon auszugehen, dass nur ein Teil der Radfahrenden an der Datenerfassung und -übermittlung teilnimmt. Für die späteren Datennutzenden reicht es allerdings nicht aus, nur die auf einer kleinen Stichprobe beruhende Verkehrsstärke eines Querschnitts zu kennen. Vielmehr ist eine Hochrechnung der Smartphone-basierten Stichprobe auf die komplette Querschnittsbelastung der Grundgesamtheit sinnvoll.

Hochrechnungen basieren bei Verkehrszählungen fast immer auf Kurzzeitzählung (z. B. 2 oder 12 h), die auf einen gesamten Werktag, einen Tag am Wochenende oder die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) bezogen werden sollen. Im Gegensatz dazu liegen bei Smartphone-basierten Daten längere Erhebungszeiträume von beispielsweise einem Jahr vor. Dafür ist die Stichprobe im Verhältnis zur Grundgesamtheit der Radfahrenden sehr klein. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Hochrechnung dieser Personenstichprobe. Entsprechend sind etablierte Hochrechnungsverfahren, wie im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (FGSV, 2015), beschrieben, oder das von Schiller

entwickelte Verfahren zur Hochrechnung von Kurzzeitzählungen im Radverkehr (Schiller, Zimmermann, & Bohle, 2011) für diesen Zweck ungeeignet und es müssen alternative Verfahren entwickelt werden.

Methodik

Die Hochrechnung wird mit verschiedenen parallelen Methoden realisiert. Innerhalb der Pilotkommune Dresden wird dabei für die klassischen Zählungen auf zwei verschiedene Datenquellen mit unterschiedlichem Umfang zurückgegriffen:

Automatische Zählstellen:

Die Landeshauptstadt Dresden betreibt an acht Standorten (2017) Dauerzählstellen, von denen sechs Standorte (Abbildung 39) in der Analyse berücksichtigt werden konnten. Die Dauerzählstellen bestehen aus einem in die Fahrbahn eingearbeiteten Drucksensor sowie einer Steuerungseinheit. Damit sollen die Anzahl und die Richtung von Fahrrädern zuverlässig erkannt werden und andere Verkehrsteilnehmer, wie Fußgänger, Kinderwagen oder Inlineskater, ausgeblendet werden (Themenstadtplan, LH DD). Die Daten wurden vom Straßen- und Tiefbauamt auf der Aggregationsebene von einer Stunde zur Verfügung gestellt. Grundsätzlich werden nur Zeiträume betrachtet, für die gleichzeitig Daten im Strava-Datensatz und von den Dauerzählstellen verfügbar sind. Da die Zählstellen gelegentlich keine Werte lieferten, wird als Betrachtungszeitraum der 01.09.2015 bis zum 31.05.2016 einbezogen. Dafür liegen mit Ausnahme für den Zeitraum bis 25.09.2015 beim Elberadweg rechts durchgehend Daten vor.

Kurzzeitzählungen:

An verschiedenen Standorten in Dresden hat die Professur Verkehrsökologie mit Unterstützung durch Studenten Kurzzeitzählungen durchgeführt. Zähltage waren Dienstag bis Donnerstag im Zeitraum vom 22.05.2015 bis zum 12.06.2015. Erfasst wurde jeweils der Zeitraum von 14:00 bis 18:00 Uhr, der in Intervalle von 10 Minuten unterteilt war (Sabath 2015, S. 12).

Generell sollte der Fokus auf Standorte im Nebennetz bzw. auf Parallelverkehre im Haupt- und Nebennetz liegen. Bei der konkreten Auswahl der Zählstandorte flossen die Kriterien verkehrliche Bedeutung, Parallelrouten zum Hauptverkehrsstraßennetz und Verdacht auf überproportionalen Anteil an Sportradfahrerinnen und -fahrern ein.

Weitere Datenquellen:

Aus verschiedenen anderen Quellen wurden weitere manuelle Zählungen zusammengetragen (ADFC Dresden, Studien und Diplomarbeiten). Die Zählungen beziehen sich auf unterschiedliche Zeitfenster, verschiedene Jahreszeiten und teilweise auf frühere Jahre. Die Vergleichbarkeit mit den Daten der Firma Strava Inc. ist somit stark eingeschränkt.

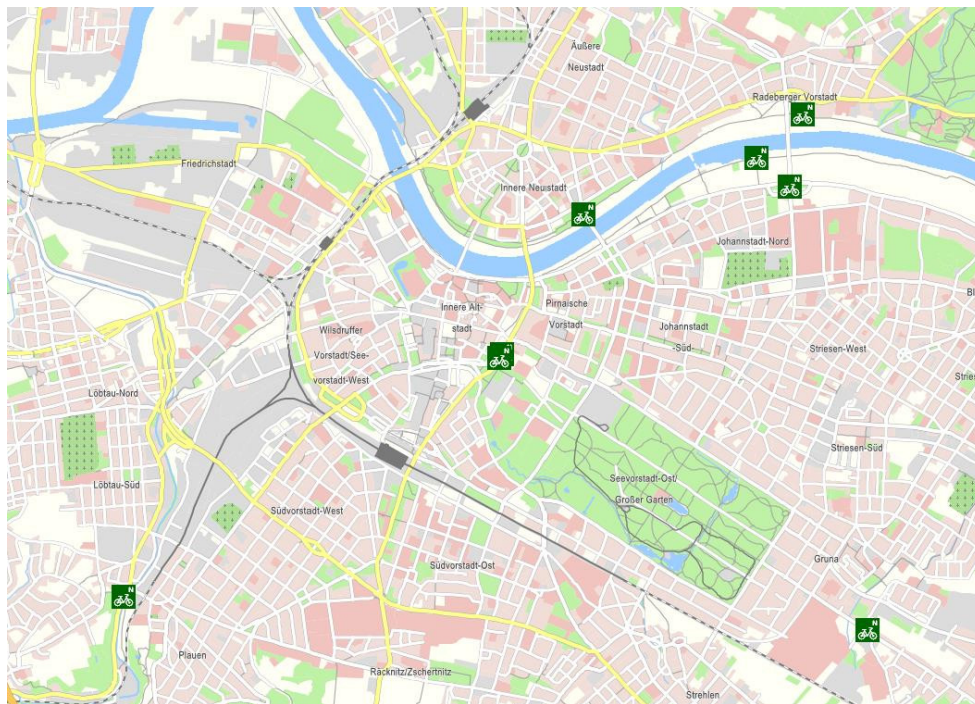


Abbildung 39: Standorte der Dauerzählstellen in Dresden (Bildquelle: Themenstadtplan Landeshauptstadt Dresden, 2017)

Für die Untersuchung werden die GPS-basierten Datensätze von Strava genutzt, die den Zeitraum 01.09.2015 bis 31.05.2016 (Dauerzählstellen) und 01.06.2015 bis 31.05.2016 (Kurzzeitmessungen) umfassen. Aufgrund des dichteren Straßennetzes mit den eingangs benannten Auswirkungen auf das Mapmatching (siehe Kapitel 5.1) wird als Straßennetz die OpenStreetMap-Karte verwendet. Grundlage der Untersuchung sind die Verkehrsstärken aller Radfahrenden („total activity count“)

der Kanten, die zunächst minutenfein vorliegen. Im Zuge der Datenaufbereitung fanden die folgenden Arbeitsschritte statt:

1. Codierung einer Zeit- und Datumsvariable
2. Kombination der Radfahrenden von mehreren parallelen Kanten und Ausschluss von doppelten Fällen anhand des Kriteriums „mehrere Fälle in der gleichen Minute auf zwei parallelen Kanten“
3. Aggregation der minutenfeinen Daten auf Stunden
4. Ergänzung von Werten 0 bei Stunden ohne Radfahrenden

Der Vergleich zwischen den GPS-basierten Daten und den Dauerzählstellen erfolgt für exakt miteinander korrespondierende Zeiträume. Dafür wird der gesamte Zeitraum, für den Daten der Dauerzählstellen vorliegen, einbezogen.

Für die Kurzzeitzählungen sind die Fallzahlen für den korrespondierenden Zeitraum zu klein. Deshalb wird dafür der gesamte Strava-Datensatz für den entsprechenden Zählzeitraum als Vergleichsbasis verwendet. Dadurch werden die Aussagekraft der Ergebnisse und die mögliche Analysetiefe eingeschränkt, da es sich um zwei weitestgehend unabhängige Stichproben handelt. Mögliche Einflussfaktoren wie Wetter, Jahreszeit, Wochentag und Ferienzeiten bleiben unberücksichtigt. Die Ergebnisse aus den Kurzzeitzählungen besitzen eher informativen Charakter.

Ergebnisse

Für den Vergleich der Dauerzählstellen mit den Strava-Werten erfolgt die Betrachtung von sechs Querschnitten. Die Tagesganglinie auf Basis der Dauerzählstellen ist in Abbildung 40 dargestellt. Im Verlauf der Tagesganglinien sind Unterschiede klar erkennbar. Sie lassen sich jeweils gut anhand der Funktion der Straßen im Verkehrsnetz erklären. Je nach Querschnitt liegen die Verkehrsstärken je Tag zwischen 400 und 2.000 Radfahrenden.

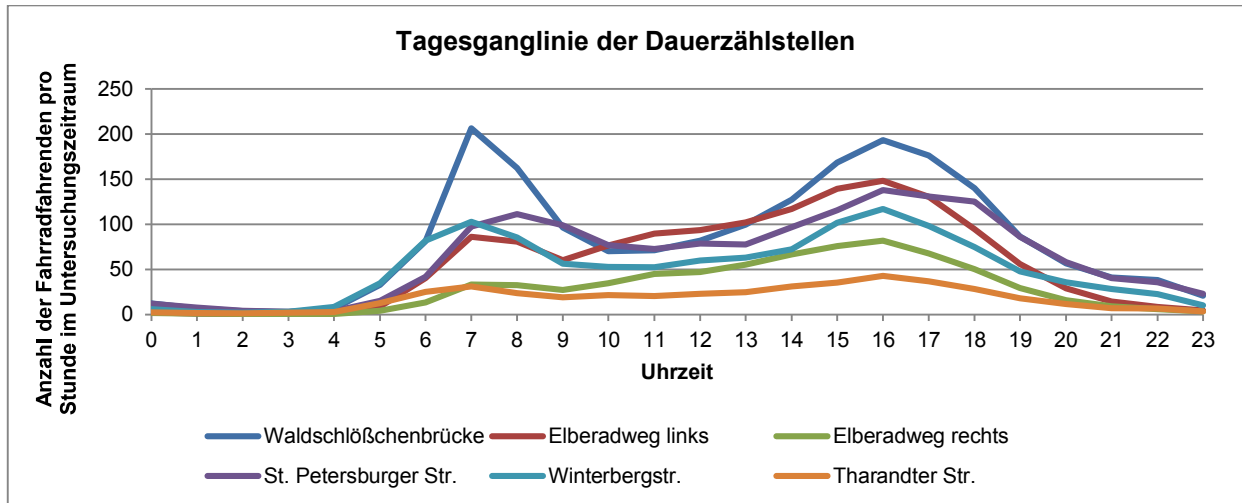


Abbildung 40: Tagesganglinie der Dauerzählstellen in Dresden (Zeitraum: 09/2015 - 05/2016)

Die Stichprobe innerhalb des Strava-Datensatzes ist deutlich geringer. In dem neunmonatigen Zeitraum liegt die Summe aller Radfahrenden mit Strava-Nutzung zwischen 500 und 5.500. Die sich daraus ergebenden Tagesganglinien sind in Abbildung 41 dargestellt. Ein Tagesgang ist auch hier klar zu erkennen.

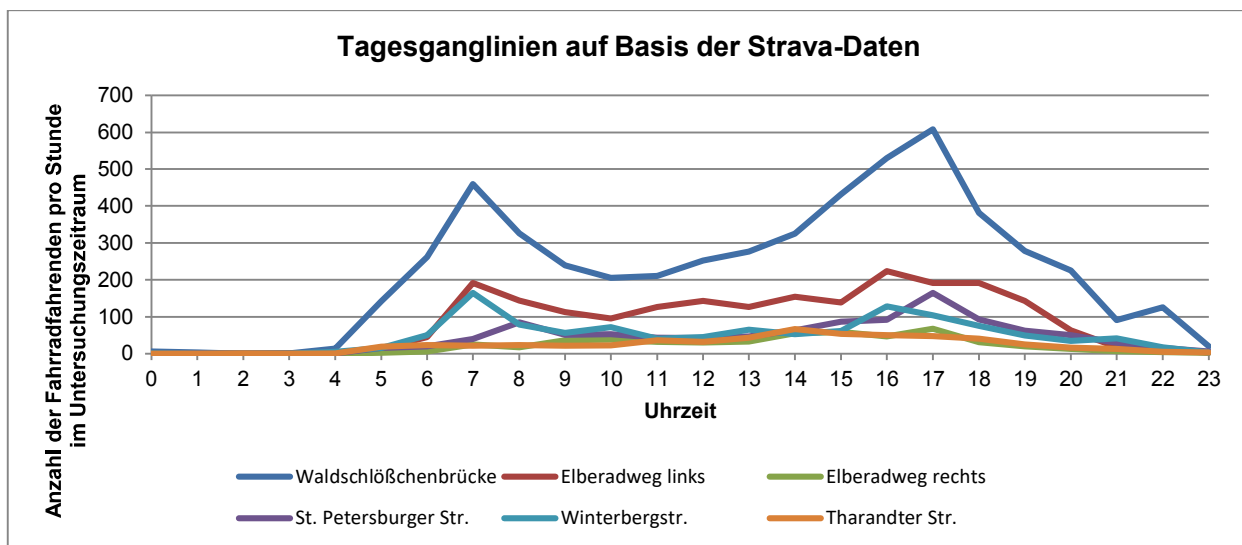


Abbildung 41: Tagesganglinien auf Basis der Strava-Daten im Untersuchungszeitraum

Die Hochrechnung der Strava-Daten auf die Werte der Zählstellen erfolgt anhand von zwei unterschiedlichen Verfahren. Bezugsgröße der Faktoren bzw. Formeln ist, abweichend vom in der Analyse betrachteten Zeitraum, jeweils die Hochrechnung von Strava-Daten eines durchschnittlichen Tages der Strava-Werte auf die Werte der Dauerzählstellen eines einzelnen durchschnittlichen Tages.

Wird eine lineare Regression über alle Stunden des Tages und alle Zählstellen gerechnet, ergibt sich die in Abbildung 42 dargestellte Hochrechnung. Die Regression verwendet die Strava-Daten als Ausgangsdaten (x) und leitet daraus die Werte eines Tages $f(x)$ ab. Die entsprechende Regressionsformel auf Ebene von Stunden lautet: $f(x) = 0,5087 * x + 16,9719$

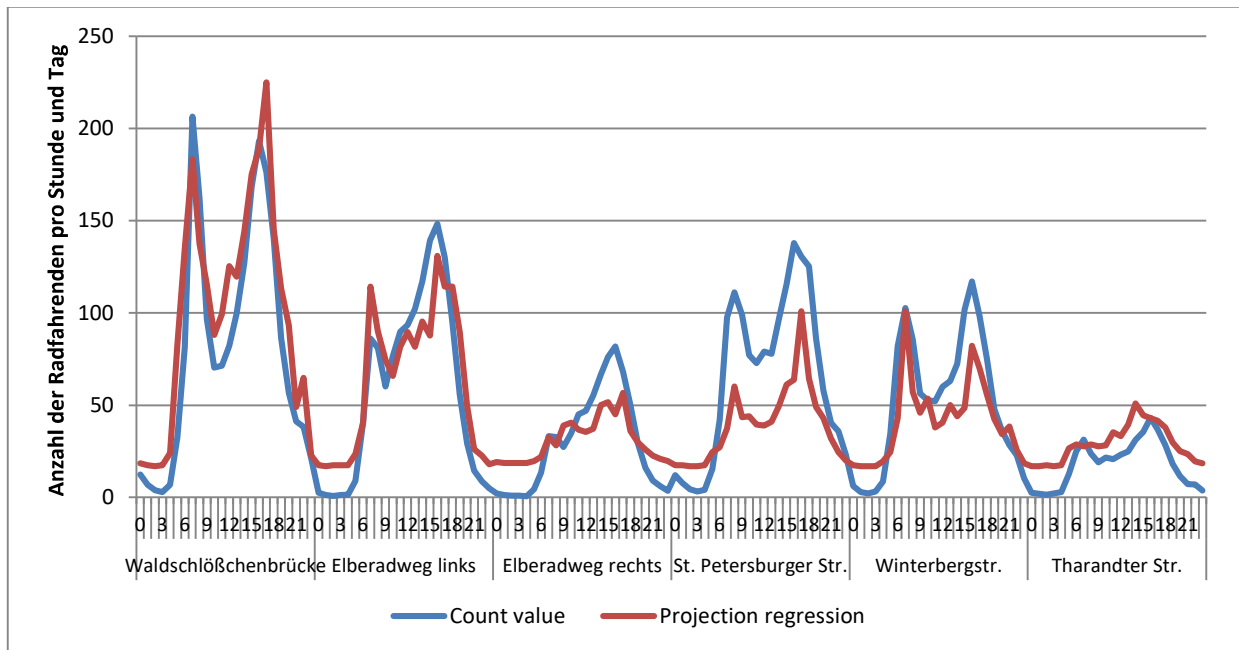


Abbildung 42 Prognose für Dauerzählstellen in Dresden auf Basis einer linearen Regression

Als alternativer Ansatz zur linearen Regression wird ein konstanter Faktor untersucht. Dieser ergibt sich aus den Mittelwerten der Unterschiede auf Stundenbasis. Das arithmetische Mittel liegt bei 0,00371 und wird für die Prognose in Abbildung 43 verwendet. Der Median liegt bei 0,00306, Minimum und Maximum bei 0 und 0,1449 und die Standardabweichung beträgt 0,00262. Anders ausgedrückt entspricht die Strava-Verkehrsstärke eines Kalenderjahres der 1,36-fachen Radverkehrsstärke eines einzelnen Tages.

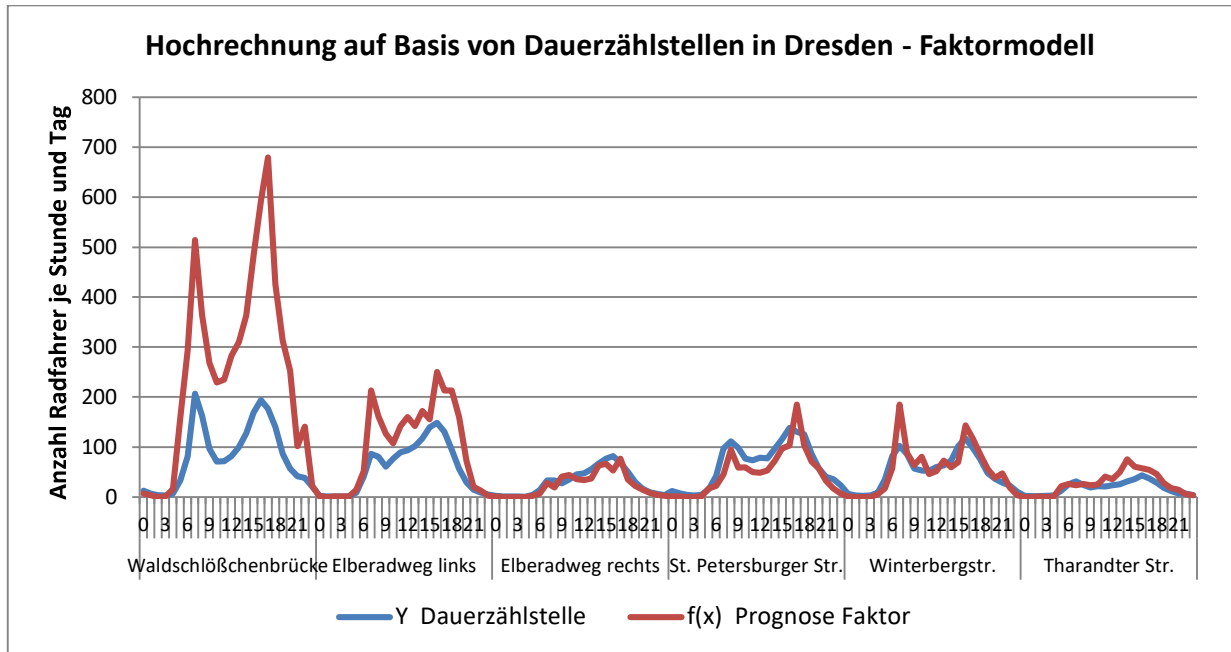


Abbildung 43: Prognose für Dauerzählstellen auf Basis eines Faktors

Auffällig bei der Prognose anhand des Mittelwerts sind die hohen Abweichungen bei der Waldschlösschenbrücke. Die prognostizierte Radverkehrsstärke liegt in der Summe etwa doppelt so hoch wie die an der Dauerzählstelle gemessenen Werte. Eine mögliche Ursache auf Seiten der Strava-Daten könnte beim Mapmatching liegen. Die Brücke besteht aus vier digitalisierten Achsen. Mit einer Duplikatsuche wurde zwar bereits etwa die Hälfte der Fälle ausgeschlossen, aber zusätzlich erscheint die Gesamtmethodik bei parallelen Achsen mit Unsicherheiten behaftet zu sein. Aufgrund der Nähe zu einem Knotenpunkt können auch abbiegende Verkehre nicht gänzlich aus der Strava-Stichprobe ausgeschlossen werden. Eine andere Ursache könnten die Werte der Dauerzählstelle sein. Diese sind zwar im Hinblick auf Tages- und Jahresganglinie plausibel, aber eine systematische Untererfassung kann nicht ausgeschlossen werden, da der Zugang zur Brücke auch ohne Befahrung der Dauerzählstelle über eine Treppe möglich ist.

Bei der Einordnung, welches Verfahren besser zur Hochrechnung geeignet ist, sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden. Bei der linearen Regression gibt es innerhalb der Gleichung der Form $f(x) = ax+b$ stets einen konstanten Wert (b). Dies bedeutet, dass auf Basis dieser Hochrechnung auch bei Straßen ohne jegliche

Strava-Nutzende von einer Mindestverkehrsstärke von 17 Radfahrenden je Stunde auszugehen wäre. Während der Nachtstunden ist dieser Effekt in Abbildung 42 deutlich zu erkennen. Dies ist aber schwer zu begründen. Die statistischen Kenngrößen zur Sicherheit (erklärt in Tabelle 2) von Prognosen in Tabelle 3 bieten darüber hinaus eine quantitative Einschätzung der Prognosesicherheit für das Radverkehrshauptnetz in Dresden. In der Gesamtbewertung zeigt die intuitiv naheliegende Hochrechnung mittels Faktor eine deutlich höhere Prognosesicherheit und der Ansatz wird für die Analyse weiterer Straßenquerschnitte weiterverfolgt.

Tabelle 2: Bedeutung verschiedener statistischer Kennzeichen

Größe	Gleichung	Wie zu interpretieren?
Mittlerer absoluter Fehler	$\frac{1}{n} \sum |f(x)_i - y_i|$	...ist der absolute Unterschied zwischen dem prognostizierten Wert und dem tatsächlichen Wert. Der MAE sagt aus, wie groß der zu erwartende Fehler im Durchschnitt ist.
Relativer Fehler oder WAPE (Weighted Abs. Percentage Error)	$\frac{\sum |f(x)_i - y_i|}{\sum y_i}$	...ist der Fehler skaliert auf die Datenbasis. Je kleiner der Wert, desto geringer der relative Fehler.
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler (MAPE)	$\frac{1}{n} \sum \left| \frac{f(x)_i - y_i}{y_i} \right|$	Dieser drückt die Genauigkeit als Prozentsatz des Fehlers aus. Da diese Zahl einen prozentualen Wert darstellt, ist sie möglicherweise leichter zu verstehen als andere Statistiken. Wenn der MAPE-Wert beispielsweise 5 beträgt, weicht die Prognose im Durchschnitt um 5 % ab.
Korrelation	Excel Funktion	Misst die Stärke der statistischen Beziehung zweier Variablen zueinander. Je näher der Wert an +1 (positive Korrelation) oder -1 (negative Korrelation) ist, desto besser.
Bestimmtheitsmaß (r^2)	r^2	Gütemaß der Statistik. Es zeigt wie viel Variation in den Daten durch ein vorliegendes Regressionsmodell erklärt werden kann. Es zeigt das Maß an Sicherheit mit der die Zahl an Radfahrenden durch das Modell prognostiziert wird, vereinfacht also wie gut das Regressionsmodell die aktuelle Anzahl an Radfahrenden repräsentiert.

Tabelle 3: Statistische Kennwerte Hauptnetz Dresden

Statistischer Kennwert	Regression	Faktor
Mittlerer absoluter Fehler	18,434	28,442
Relativer Fehler	0,364	0,562
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler (MAPE)	215,665	57,831
WAPE	0,386	0,250
Korrelation	0,866	0,866
r^2	0,433	0,433

Ergänzend zu der Auswertung der Dauerzählstellen an Hauptverkehrsachsen erfolgte eine Auswertung von Kurzzeitzählungen, die die Professur Verkehrsökologie im betrachteten Zeitraum durchführte. Das Verhältnis der gezählten Radfahrenden und der im exakt gleichen Zeitraum aufgezeichneten Strava-Nutzenden beträgt an den zehn untersuchten Querschnitten 7.309 : 7. Danach nutzten nur 0,096 % der erfassten Radfahrenden in den jeweils vierstündigen Zählperioden die App Strava.

Werden die stündlichen Aktivitäten von Strava-Nutzenden eines gesamten Jahres mit den Kurzzeitzählungen am Stichtag ins Verhältnis gesetzt, ergeben sich die Werte in Tabelle 4. Der Mittelwert der zehn Querschnitte liegt bei 2,98 bei Bezug auf Werte eines kompletten Kalenderjahres bei Strava. Die Streuung ist jedoch erheblich, was durch die Standardabweichung von 2,28 unterstrichen wird.

Tabelle 4: Hochrechnungsfaktoren auf Basis von eigenen Kurzzeitzählungen

Querschnitt	Faktor je Tag	Faktor je Jahr
Tharandter Straße	0,0011	0,38
Wittenberger Straße	0,0242	8,82
Stübelallee	0,0079	2,88
Comeniusstraße	0,0103	3,77
Fritz-Löffler-Straße	0,0135	4,94
Hochschulstraße	0,0233	8,50
Nürnberger Straße	0,0171	6,23
Nöthnitzer Straße	0,0031	1,14
Elberadweg Nord	0,0050	1,82
Prießnitzgrundweg	0,0015	0,55

Die Ursachen für die Abweichungen zum Mittelwert der Dauerzählstellen sind vielschichtig. Während bei den Strava-Daten ein gesamtes Jahr in die Analyse einfließt, fanden die Kurzzeitzählungen nur im Mai und Juni bei überwiegend „guten Radfahrwetter“ statt. Die vergleichsweise hohen Zählraten können somit saisonal bedingt sein.

Die beiden Querschnitte Prießnitzgrundweg und Tharandter Straße liegen zudem in Korridoren, die gerne als Sport- und Trainingsstrecke genutzt werden. Damit lassen sich auch die hohen Nutzungszahlen bei Strava erklären. Während für die Wittenberger Straße keine logischen Erklärungen für die verhältnismäßig geringe Strava-Nutzung gefunden werden kann, ist die niedrige Nutzung an der Nürnberger Straße leicht erklärbar: die Straße liegt innerhalb des Campus der TU Dresden und unterliegt starken Schwankungen in Abhängigkeit von den Vorlesungszeiten. Die Altersprofile der Strava-Nutzer deuten außerdem auf einen eher geringen Verbreitungsgrad unter Studierenden hin.

Neben den in festen Zeitintervallen und innerhalb eines Monats stattgefundenen Zählungen, wurden noch verschiedene andere Zählstandorte betrachtet. Die

resultierenden Faktoren in Tabelle 5 weisen ebenfalls große Spannbreiten auf. Die Verknüpfbarkeit der beiden Quellen ist allerdings derart eingeschränkt, dass die Werte rein informativen Charakter besitzen.

Tabelle 5: Hochrechnungsfaktoren auf Basis von sonstigen Quellen

Querschnitt	Anzahl Zählstunden	Zählmonat	Faktor je Tag	Faktor je Jahr
Chemnitzer Strasse	2	April/Mai	0,0026	0,94
Grundstraße	4	April/Mai	0,0115	4,20
Elberadweg, an Albertbrücke	4	April/Mai	0,0026	0,96
Elberadweg, an Waldschlösschenbrücke	4	April/Mai	0,0037	1,34
St. Petersburger am Hotel Mercure	38	März bis Mai	0,0012	0,43
Fetscherstr. an Pfortenhauer Str.	60	Februar bis April	0,0050	1,83
Dammweg	8	Juni/September	0,0023	0,83
Hansastr.	2	Juni/August	0,0005	0,18

Anwendung der Hochrechnungsmethodik auf eine Großstadt

Die im vorangegangenen Abschnitt mit Hilfe vorhandener Ortskenntnis und der nachträglichen Plausibilisierung der vorhandenen Smartphonedaten erstellte Methodik wurde, um sie auf ihre Robustheit zu prüfen, anschließend für das Stadtgebiet von Berlin angewandt. Für das Stadtgebiet von Berlin wurden durch die Senatsverwaltung für Umwelt und Verkehr und Klimaschutz die Daten von 17 Zählstellen für den Zeitraum von Januar 2015 bis Juni 2017 zur Verfügung gestellt. Analog zum Vorgehen in der Pilotkommune Dresden wurden danach korrespondierende Zeitscheiben ausgewählt, in denen jeweils beide Datensätze zur Verfügung standen. Auf eine Nachplausibilisierung der Daten wurde diesmal verzichtet, um zum einen die Datengüte einer bisher nicht im Detail bekannten Stadt abschätzen zu können und zum anderen die Robustheit der Methodik abschätzen zu können. Die beschriebenen Kriterien erfüllten dabei acht der siebzehn Dauerzählstellen. Neben den beschriebenen Verfahren wurde zudem als Erweiterung die Variante der linearen Optimierung getestet. Die Testergebnisse sind

dabei sehr positiv zu bewerten. Für den Bereich der betrachteten Zählstellen ist eine Korrelation der Datenreihen mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,922 zu verzeichnen. Das heißt es besteht ein hoher positiver Zusammenhang von den Daten die durch die Strava-Nutzer erhoben werden und den Daten der Dauerzählstellen über alle acht Zählstellen. Beide Datenreihen sind außerdem nach der Teststatistik des t-Test normalverteilt.

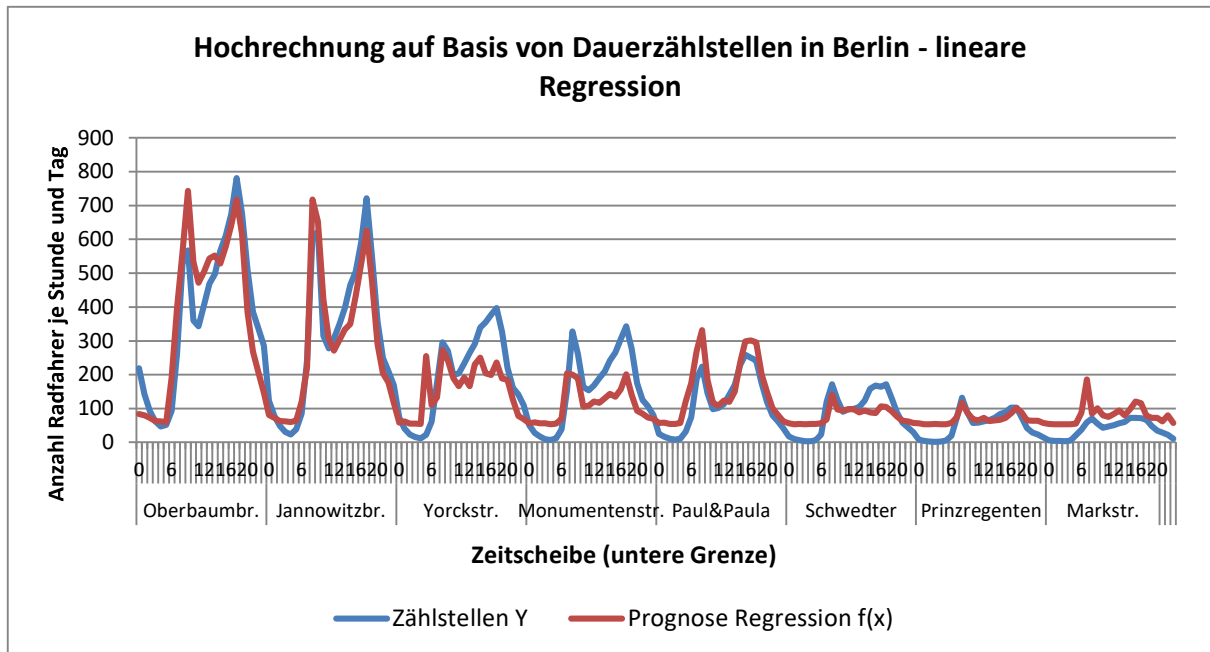


Abbildung 44: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer linearen Regression

Für die lineare Regression konnte eine Regressionsgleichung nach $f(x)=0,6941 \cdot x+53,367$ gefunden werden. Wie in Abbildung 44 ersichtlich ist hierbei das Problem der überschätzten Nachtstunden weiterhin ungelöst. Der Ansatz über die Faktorenbildung, ersichtlich in Abbildung 45, liefert hier Abhilfe, überschätzt jedoch die Zählstellen Oberbaumbrücke und Jannowitzbrücke massiv. Auch hier kann, wie auch am Querschnitt Waldschlösschenbrücke in Dresden, eine Mehrfachzuordnung von Fahrten auf Kanten oder ein alternativer Zugangspunkt abseits der Zählstellen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Der Grad der Überschätzung ist dabei zum Teil beträchtlich. In beiden Fällen ist es aber, bedingt durch die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn und die insgesamt sehr hohen Radverkehrsstärken, durchaus möglich, dass ein nennenswerter Teil des ambitionierten Strava-Nutzerkollektivs im Verkehrsstrom der KFZ mitschwimmt,

beispielsweise um zu überholen. Gleichzeitig ist es möglich, dass ein gewisser Teil der Nutzenden die angrenzenden Fußwege befährt. Hierdurch wäre die Überschätzung des auf Faktoren basierten Modells zu erklären. Ein weiterer möglicher Grund für die Überschätzung, die sich vor allem im Bereich von Brücken zeigt, kann deren Lage als Zwangspunkt sein. Bei gegeben größeren Entfernungen und häufigeren Fahrten der Strava-Nutzenden steigt hier auch die Wahrscheinlichkeit diese Zwangspunkte benutzen zu müssen.

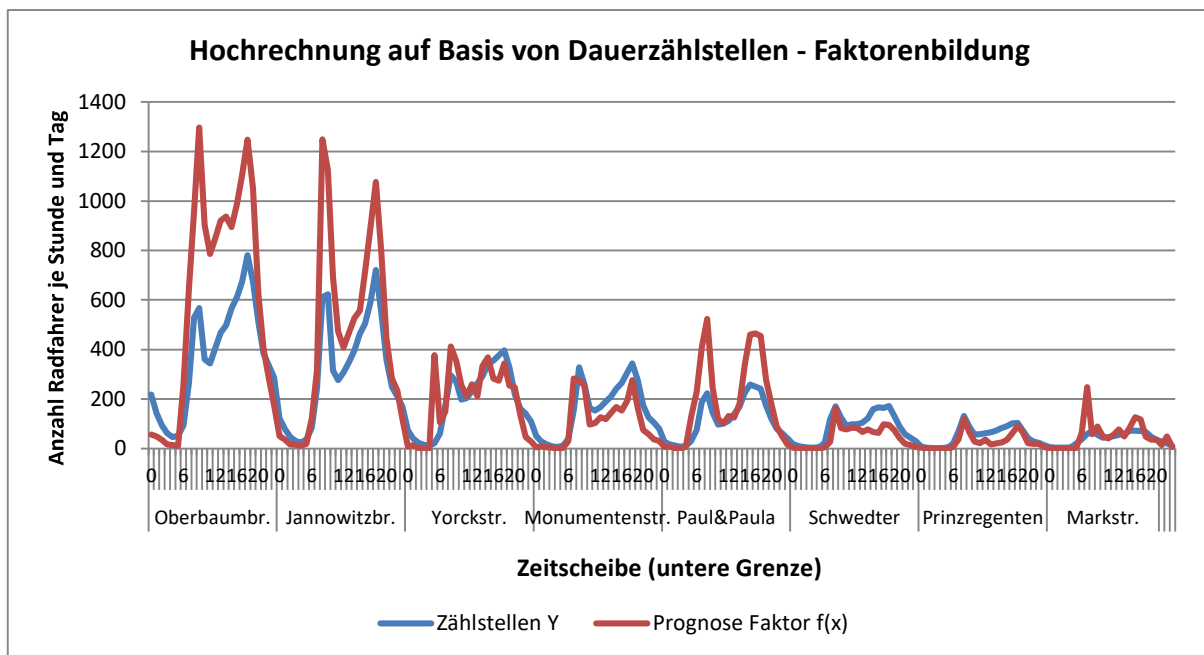


Abbildung 45: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer Faktorenbildung

Ein weiterer Ansatzpunkt für die Hochrechnung auf Basis von Faktoren ist die Nutzung der linearen Optimierung in Form eines Solvers (z.B. in Excel). Hierbei wird methodenbedingt ähnlich wie bei der Regression die geringste Abweichung vom Optimum favorisiert, was zur Folge hat, dass die Zählstellen mit besonders hohen Radverkehrsmengen sehr gut getroffen werden. Im Gegenzug werden jedoch Zählstellen mit eher geringen Werten unterschätzt.

Tabelle 6: Statistische Kennwerte Hauptnetz Berlin

Statistischer Kennwert	Regression	Faktor	Lineare Optimierung
Mittlerer absoluter Fehler	51,73	89,5723	36,4956
Relativer Fehler	0,3145	0,5446	0,2218
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler (MAPE)	200,1219	66,0866	59,2523
WAPE	1,0	1,8361	1,2851
Korrelation	0,9216	0,9216	0,9216
r^2	0,8494	0,8494	0,8494

Das spiegelt sich auch in den statistischen Kennwerten wieder. Ist der mittlere absolute Fehler noch relativ gering, betrachtet man Radverkehrsaufkommen von z.T. bis 800 Radfahrenden pro Stunde, zeigt sich im Bereich der prozentualen Fehler eine deutlich höhere Abweichung. Dies ist vor allem bedingt durch die Über- oder Unterschätzung der Stunden in den Tagesrandzeiten und der generell größeren Ungenauigkeit bei Zählstellen mit geringerem Radverkehrsaufkommen.

Für die Netzkanten, die als Zwangsstellen interpretiert werden können (bspw. Brücken), ist in weiterführender Forschung zu klären, ob sich das genannte Muster in anderen Städten an ähnlichen Netzelementen bestätigt, man also von einer gesonderten Betrachtung und Hochrechnung der betreffenden Elemente ausgehen sollte. Die im Projekt bisher vorliegende Fallzahl, vor allem an Zählstellendaten und damit korrespondierenden GPS-Daten, reicht für einen derartigen Vergleich jedoch noch nicht aus.

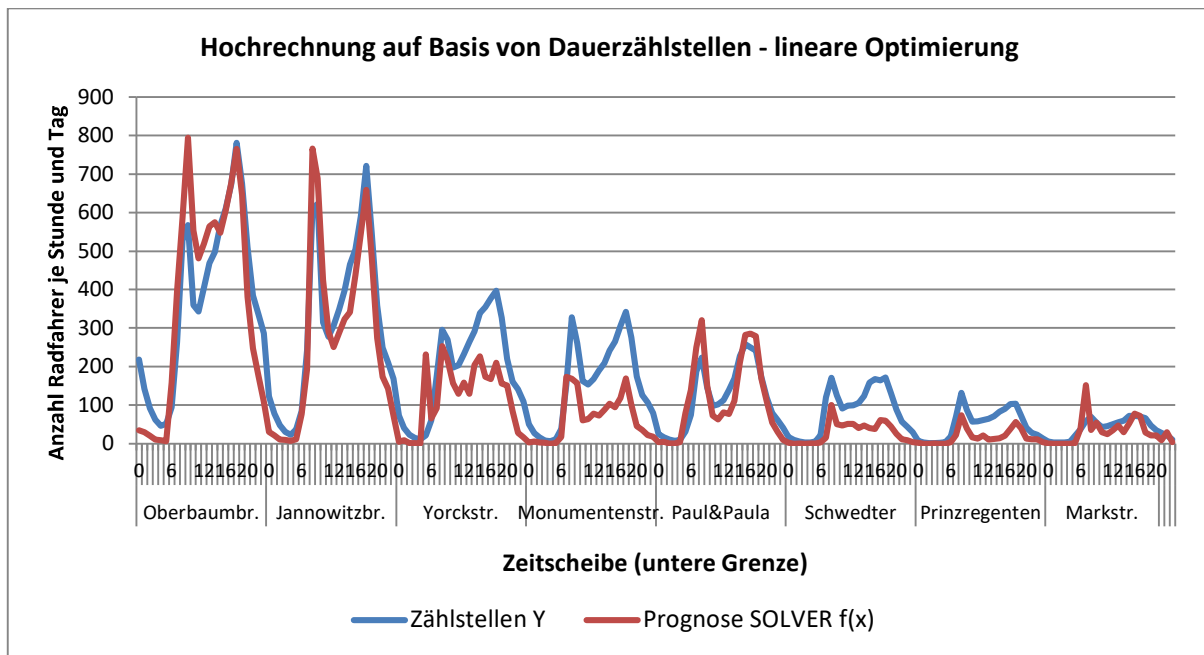


Abbildung 46: Prognose für Dauerzählstellen in Berlin auf Basis einer linearen Optimierung

Anwendung der Hochrechnungsmethodik auf modellierte Verkehrsmengen

Für das Gebiet der Stadt Leipzig lagen als Referenzzahlen lediglich Verkehrsmengen aus dem Verkehrsmodell vor. Hier zeigte sich, dass diese nicht geeignet sind, um das Verhalten einer Stichprobe zu kalibrieren. Dies ist vor allem darin bedingt, dass nur reine Verkehrsmengen vorliegen und diese nicht stundenfein aufgelöst sind. Der Vergleich der mittleren Tageswerte erbrachte eine starke Divergenz der Verkehrsmengen nach GPS-Daten und jener des Verkehrsmodells. Auch bedingt durch den unklaren statistischen Zusammenhang zwischen den Ausgabewerten des Verkehrsmodells und den Daten nach Strava, wurde eine weitere Analyse verworfen.

Bewertung der Ergebnisse

Die Auswertung zeigt, dass auf der Ebene von stundenfeinen Werten längerer Erhebungsperioden vergleichsweise zuverlässige Prognosen auf Basis der Strava-Stichprobe möglich sind. Die durchschnittliche Tagesganglinie lässt sich genauso wie der durchschnittliche tägliche Verkehr ungefähr abbilden. Dies gilt speziell für aufkommensstarke Strecken. Werden dagegen nur Kurzzeitzählungen als Vergleichsgröße verwendet, wächst die Spannbreite der Faktoren und die Prognose

wird ungenauer. Eine klare Ursachenzuordnung fällt an dieser Stelle schwer. Daten aus Modellen sind vor dem Hintergrund der für den Außenstehenden unklaren Modellstruktur für statistische Zwecke ungeeignet.

Insgesamt erscheint eine Kalibrierung der Strava-Stichprobe anhand von Dauerzählstellen sinnvoll. Darüber hinaus sollte mit dem verkehrsplanerischen Sachverstand vor Ort eine kritische Betrachtung der Strava-Daten an Strecken erfolgen, die Teile von sportlich genutzten Routen oder Zugängen zu dementsprechenden Regionen darstellen.

Für eine Hochrechnung der Daten auf die Grundgesamtheit wird daher aktuell die Variante eines Faktors, kalibriert an den mittleren Stundenwerten von Dauerzählstellen, empfohlen, da diese die Verhältnisse in einem Radverkehrsnetz am stabilsten wiedergeben. Hierbei kann sowohl die Methode einer Mittelwertbildung der Faktoren als auch die der linearen Optimierung empfohlen werden. Es ist jedoch vor allem im Nebennetz mit Abweichungen nach oben und unten zu rechnen, die über eine Gewichtung der Faktoren ausgeglichen werden können. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Abweichungen nach erfolgter Hochrechnung und vorheriger Datenbereinigung nur in Ausnahmefällen bei einem Faktor von 1,5 liegen. Diese Ausnahmefälle können zudem durch Einflussfaktoren im Datensatz der Grundgesamtheit (Zählstelle) und Stichprobe (Strava-Nutzerkollektiv) entstehen. Der Ansatz einer Gewichtung von Werten sollte forschungsseitig weiterverfolgt werden. Im vorliegenden Projekt erscheint die Stichprobe für eine sinnvolle Gewichtung jedoch zu gering.

7.5 Validierung der Geschwindigkeitswerte

Die Durchschnittsgeschwindigkeit von Radfahrenden hängt unter anderem von deren Alter ab (Alrutz, Bohle, Maier, Enke, & Pohle, 2015). Dies legt eine Überprüfung der Daten einer homogenen, männlichen Stichprobe mit einer hohen Anzahl jüngerer Fahrer, wie es der vorliegende Datensatz der Firma Strava ist, nahe. Hierzu wurde der Ansatz gewählt an mehreren Punkten des Radverkehrsnetzes der Pilotkommune Vergleichsmessungen durchzuführen. Die fünf Messquerschnitte

beinhalten drei Elemente des Radroutenhauptnetzes (2x Elberadweg, Zellscher Weg) und zwei Elemente des Nebennetzes (Grundstraße und Chemnitzer Straße). Die Grundstraße stellt zusätzlich noch die einzige Strecke mit Steigung dar. Gemessen wurde jeweils zur beziehungsweise nah an der Morgenspitze des Radverkehrs zwischen 7:00 und 10:00 Uhr wochentags während der Schulzeit in den Monaten April und Mai 2016. Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 47 dargestellt.

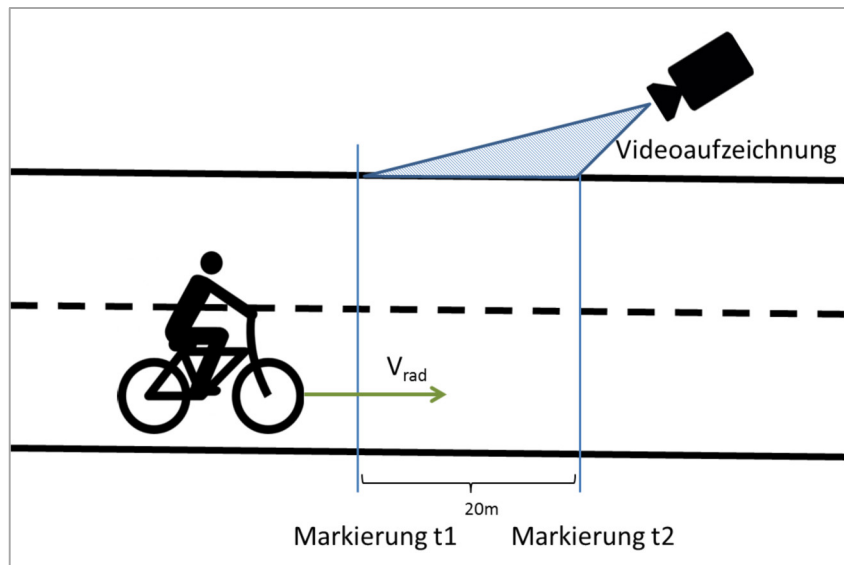


Abbildung 47: Versuchsanordnung videobasierte Geschwindigkeitsmessung (eigene Darstellung)

Die Radfahrenden wurden innerhalb zweier auf den Boden aufgetragenen Markierungen mittels einer Kamera erfasst. Anschließend wurde mit Hilfe eines Videobearbeitungsprogrammes im Einzelbildvorlauf deren benötigte Zeit um die Messfläche zu durchqueren gemessen. Referenzpunkt war jeweils die Aufstandsfläche des Vorderrades. Anschließend wurde mithilfe der folgenden Gleichung die Geschwindigkeit errechnet:

$$v = \frac{d}{(t_2 - t_1)}$$

Im Zuge der Feldmessung wurden 1925 Geschwindigkeitskennzahlen an fünf verschiedenen Querschnitten erhoben. Für die Vergleichswerte innerhalb des Strava-Datensatzes wurde, um einer sinnvollen Stichprobengröße gerecht zu werden, der Datensatz nur anhand der Zeitscheiben, nicht jedoch anhand des konkreten Datums

an die Messspezifika angeglichen. Dies liegt zum einen an der erwähnten Stichprobengröße: ein statistischer Vergleich erfordert gleiche Fallzahlen, zum anderen an der Wahl einer möglichst niedrigen Disaggregationsform, welche die Kommunen verwenden können. In diesem Fall wäre dies ein einfacher Mittelwert über einen Erhebungszeitraum. Zu erwähnen ist weiterhin, dass es sich bei den Werten der Strava-Stichprobe nicht auf Messwerten als solche handelt, sondern ebenfalls um berechnete Werte aus der benötigten Zeit für das Passieren der betreffenden Kante im GIS-Netz. Hier ist zu beachten, dass es bei knotenpunktnahen Abschnitten zu einem teilweisen Einbezug der Wartezeiten kommen kann. Aus diesem Grund wurde bei den Messquerschnitten darauf geachtet, dass sie sich auf der freien Strecke befinden.

Die Ergebnisse sind bezüglich der zu erwartenden Differenz der beiden Stichproben sehr homogen. Wie in Tabelle 7 erkennbar, zeigt die sportaffine Strava-Nutzerschaft, wie zu erwarten, ein deutlich höheres Geschwindigkeitsniveau. Die Höhe des Unterschiedes differiert jedoch in geringem Maße mit Ausreißern in den Querschnitten Zellscher Weg R2 und Grundstraße R2. Dabei weist der Querschnitt am Zelleschen Weg auch die geringste gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit auf. Dies ist sehr wahrscheinlich durch die hohe Frequenz an Studierenden bedingt, die durch die Nähe zum Campus und die Lage der Universitätsbibliothek unmittelbar am Querschnitt viele sehr kurze Quell- und Zielverkehre realisieren. Der Querschnitt Grundstraße ist, anders als die übrigen, eine Strecke mit starker Steigung (Länge insgesamt 2,9km, 124Hm, Ø-Steigung 4,2%, Steigung max. 7%).

Tabelle 7: Mittelwerte der Geschwindigkeiten an den untersuchten Querschnitten

Querschnitt	Mittelwert		Standardabweichung	
	Strava	Messung	Strava	Messung
Elberadweg WSB R1	26,07	21,17	4,18	4,72
Elberadweg WSB R2	26,25	22,08	5,12	4,70
Elberadweg ALB R1	26,26	21,70	5,06	3,72
Elberadweg ALB R2	26,29	20,20	4,60	3,41
Zellscher Weg R1	26,33	21,56	5,73	5,00
Zellscher Weg R2	27,00	19,34	5,74	4,20
Chemnitzer Straße R1	29,25	23,56	6,07	5,06
Chemnitzer Straße R2	21,14	21,30	5,59	4,46
Grundstraße R1	41,89	33,68	8,41	5,55
Grundstraße R2	17,17	16,13	4,38	4,44

Vor allem auf ebenen Streckenelementen sind die Geschwindigkeiten nach Strava jedoch durchweg ähnlich normalverteilt wie die Werte der Feldmessung. Gut erkennbar ist dieser Sachverhalt in Abbildung 48. Ein Kolmogorov-Smirnoff-Test auf Normalverteilungen ist ebenfalls positiv ausgefallen.

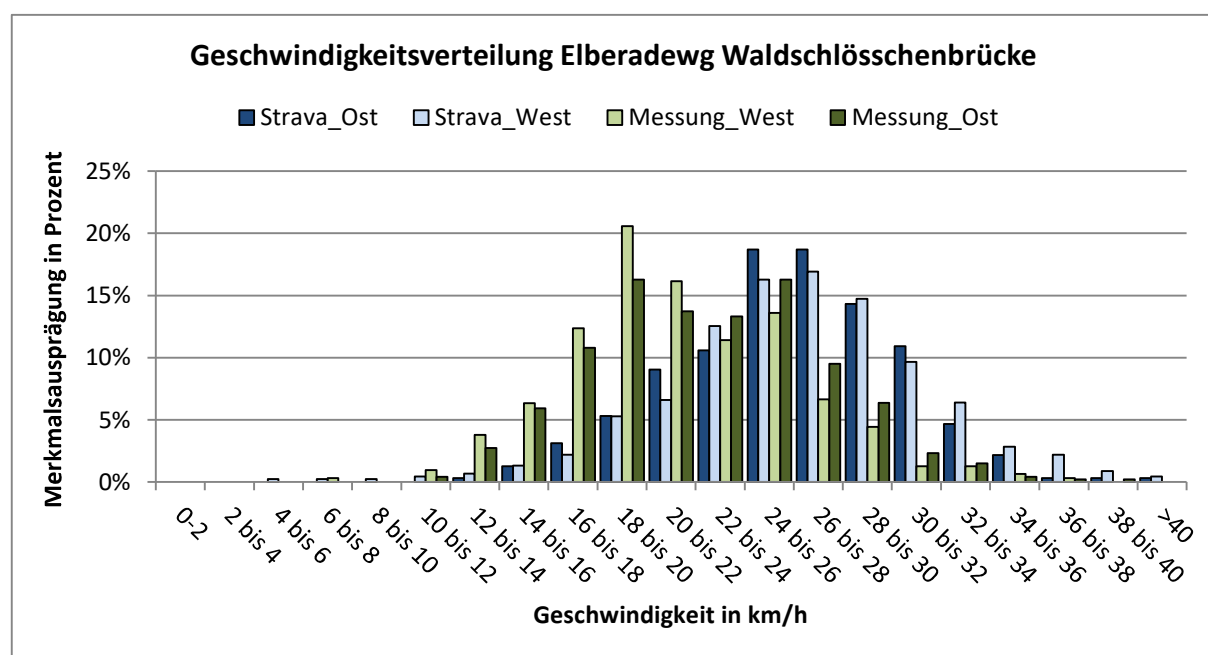


Abbildung 48: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Hauptnetz, Elberadweg Höhe Waldschlösschenbrücke (N=316/473)

Die aggregierte Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung in Abbildung 49 verdeutlicht, dass über den nahezu vollständigen Wertebereich ein fast konstanter Versatz in einer Größenordnung von ca. 5 km/h vorherrscht.

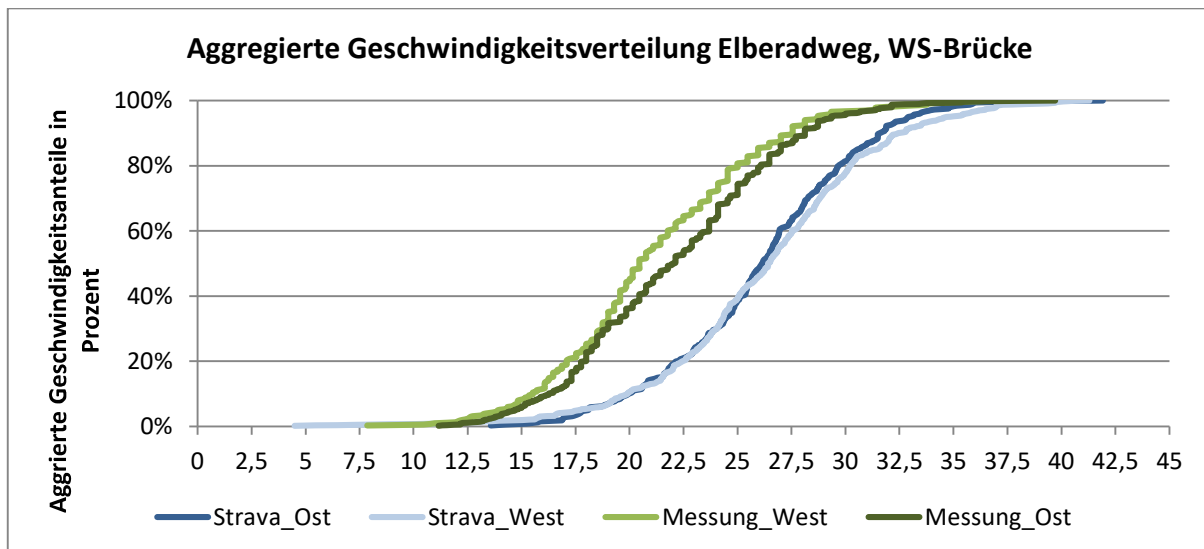


Abbildung 49: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Hauptnetz, Elberadeweg Höhe Waldschlösschenbrücke (N = 316 / 473)

Stellvertretend für das Nebennetz wurde die Chemnitzer Straße in Dresden untersucht. Auch hier konnte eine Normalverteilung der gemessenen Geschwindigkeiten für jede Richtung festgestellt werden (Abbildung 50), die Besonderheit ist an dieser Stelle, dass die Werte der Strava-Nutzenden einen deutlichen Richtungsbezug aufweisen. Ein möglicher Interpretationsansatz ist eine ca. 300m vom Messort entfernte Lichtsignalanlage, auf die die Radfahrenden zufahren. Durch ungünstige Koordination kann es an dieser Stelle durchaus geschehen, dass Radfahrende häufig Rotlicht angezeigt bekommen und daher die Geschwindigkeit im Vorfeld schon entsprechend anpassen.

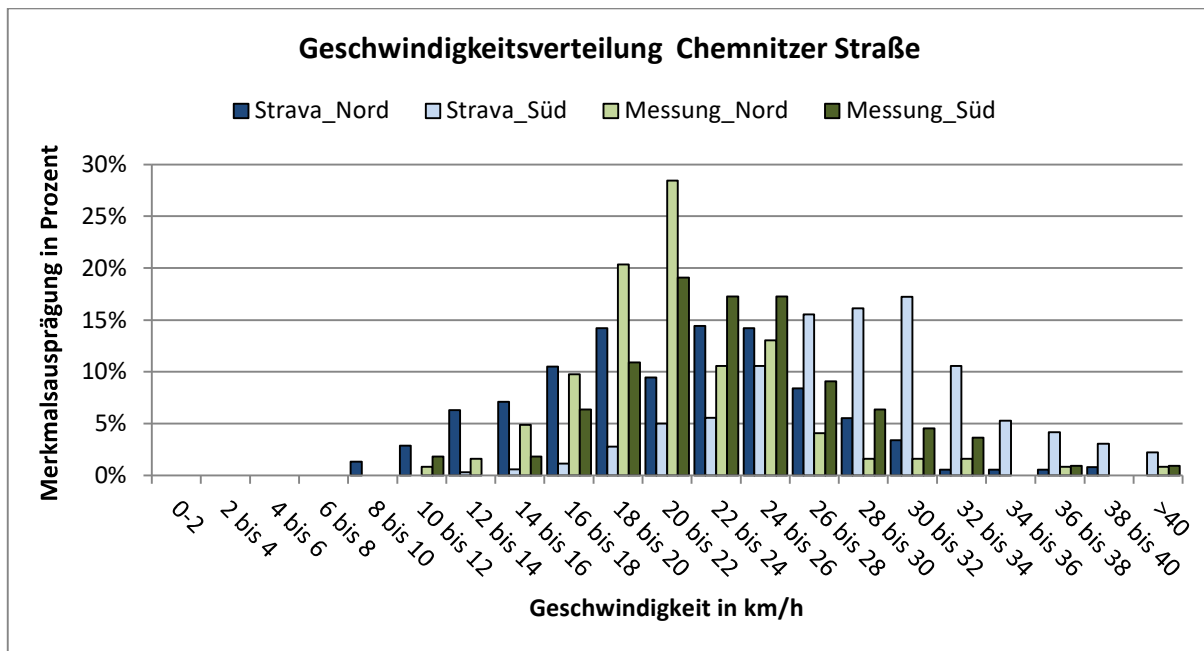


Abbildung 50: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Nebennetz, Chemnitzer Straße (N=110/123)

Nochmals verdeutlicht wird dieser Sachverhalt in der aggregierten Darstellung in Abbildung 51. Gleichzeitig wird ein Vorteil der Auswertung von GPS-Geschwindigkeitsdaten deutlich. Da diese über einen breiteren Zeitraum verteilt sind, können auch Sachverhalte dargestellt werden, die in Kurzzeitmessungen nicht zu Tage treten. Eine Analyse des GPS-Datensatzes auf derartige richtungsbezogene Differenzen kann beispielsweise für den Radverkehr problematische Koordinierungen der Lichtsignalanlagen anzeigen. Diese können dann gezielt einer genaueren Prüfung unterzogen werden. Auch ist im weiteren Verlauf von Auswertungen die Dokumentation von Unterschieden im Jahresverlauf oder im Bereich Wochentag/Wochenende möglich. So kann beispielsweise die Oberflächenqualität der genutzten Elemente bspw. im Zuge von Räumarbeiten im Winter visualisiert werden. In der Dokumentation der Projektarbeiten wurde auf derartig explizite Problematiken verzichtet, da hierzu keine Referenzmessungen vorliegen.

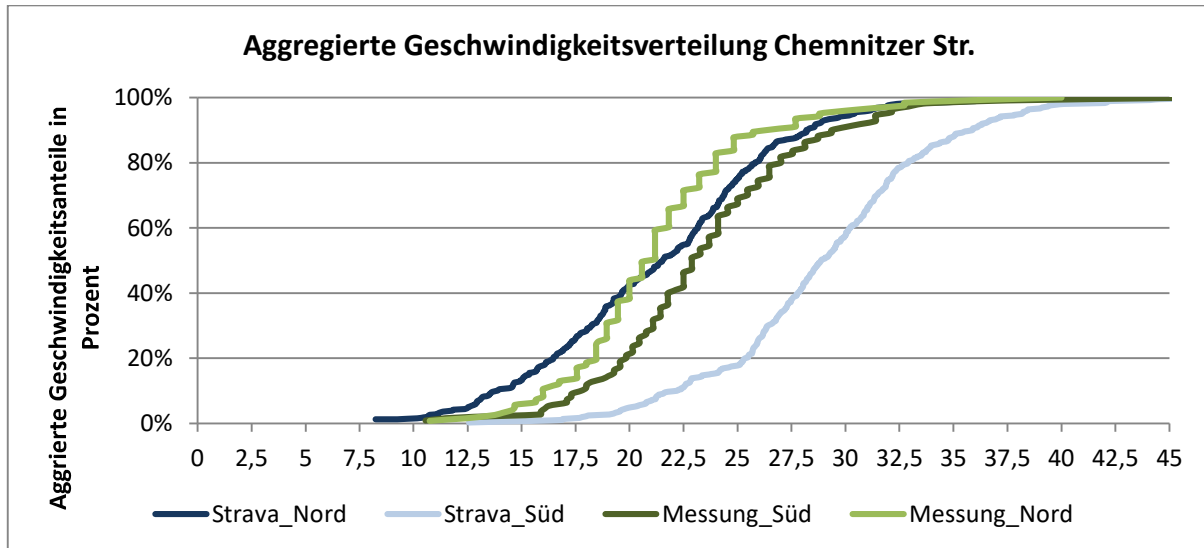


Abbildung 51: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Nebennetz, Chemnitzer Straße (N = 110 / 123)

Erwartungsgemäß ist die Verteilung der Geschwindigkeiten an Strecken mit starker Steigung eher different. Während bei Fahrten bergan von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, lässt sich diese bergab klar verneinen. Beim Querschnitt Grundstraße (Abbildung 52) offenbart sich durch die Steigung eine weitere Besonderheit: anders als an ebenen Querschnitten ist zumindest bergauf kein deutlicher Unterschied zwischen Messung und GPS-Datensatz zu konstatieren. Dies kann damit begründet werden, dass Fahrer, die diese Strecke fahren, sie auch bewusst gewählt haben und damit als sehr geübte, bis sportive Radfahrende gelten dürfen. Mithin stellen diese Fahrerinnen und Fahrer also ein ähnliches Kollektiv wie die Nutzenden von Sport-Apps dar.

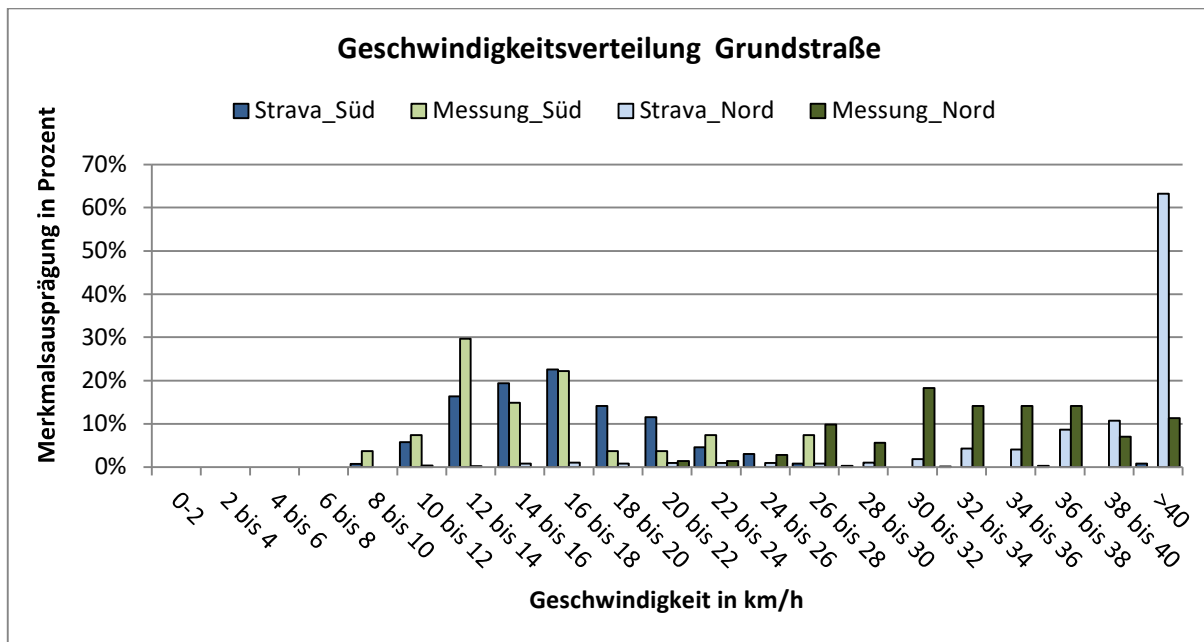


Abbildung 52: Geschwindigkeitsverteilung klassiert, Nebennetz, Grundstraße (N = 71 / 27)

Die Geschwindigkeiten bergab differieren jedoch deutlich. Ein möglicher Erklärungsansatz ist hier die höhere Risikobereitschaft der männlich dominierten Nutzergruppe gegenüber den während der Messung erfassten Radfahrenden. Diese weisen zwar ebenfalls ein hohes Geschwindigkeitsniveau auf, jedoch nicht in gleichem Maße. Ein Grund für die höhere Bereitschaft kann unter anderem im genutzten Material liegen. Hier verhilft höhere Qualität mit bspw. besseren Bremsen auch zu einem sichereren Fahrgefühl bergab. Zusätzlich ist es nicht auszuschließen, dass auch Fahrradbeherrschung der Strava-Nutzenden deutlich über der des Durchschnitts liegt. Diese Differenz tritt mutmaßlich auch deswegen bergab so deutlich zu Tage, da sich das Nutzerkollektiv, welches der empirischen Feldmessung zugrunde liegt, möglicherweise von jenem der Bergan-Fahrten unterscheidet. Es ist durchaus möglich, dass hier einige Nutzende für den Weg bergab das Fahrrad, im Zuge von bidirektionalen Wegen, aber bergauf die vorhandenen Busse oder Bergbahnen wählen.

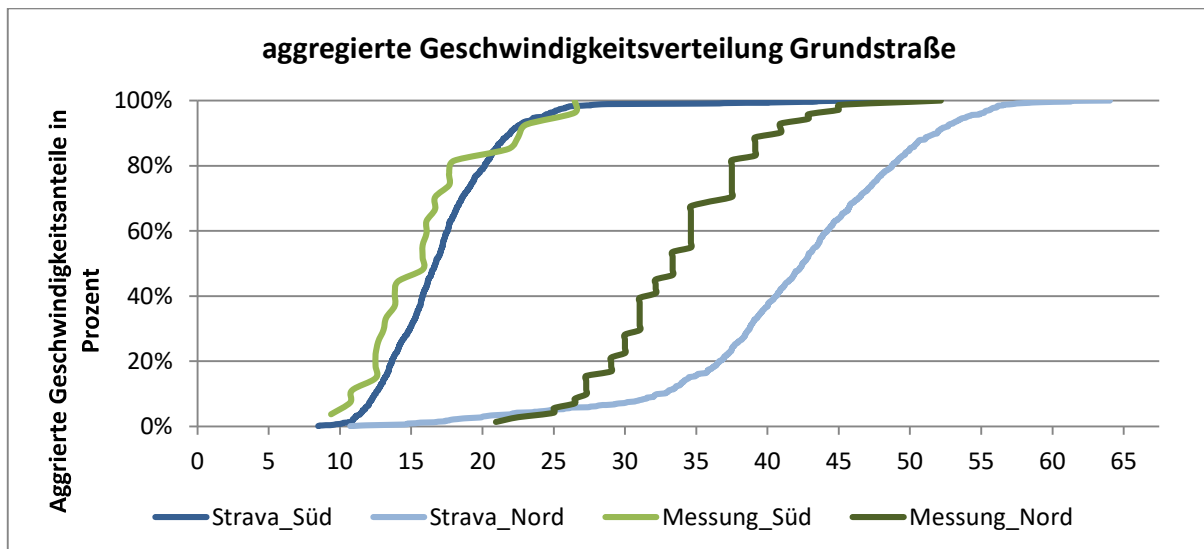


Abbildung 53: Geschwindigkeitsverteilung aggregiert, Nebennetz, Grundstraße (N=71/27)

Das Vorliegen einer normalverteilten Stichprobe, im konkreten Fall sogar beider zu vergleichender Stichproben, ist Voraussetzung einer Regressionsanalyse der unabhängigen Größe. Diese Voraussetzungen sind in der Ebene sowohl im Haupt-, als auch im Nebennetz für ebene Messquerschnitte gegeben. Eine Regressionsanalyse ist also möglich. Nicht anwendbar ist dieses Verfahren aus den genannten Gründen für Steigungstrecken. Gewählt wurde diese Herangehensweise, da eine Korrektur-Konstante zwar die Prognoserichtung deuten kann, aber nicht zwangsläufig für alle Messstellen eine hohe Ergebnisqualität liefern würde.

In diesem Fall stellt die Stichprobe der App-Nutzenden die unabhängige Größe dar und die Messwerte sollen zukünftig mittels Regressionsgleichung geschätzt werden. Es wurde eine einfache lineare Regression gerechnet. Alle weiteren Parameter wurden vereinfachend als gleich, und damit vernachlässigbar, für beide Datensätze angenommen. Weitere Forschung in diesem Bereich kann jedoch die Ergebnisqualität nochmals erhöhen. Dies bedingt jedoch umfangreiche Feldversuche, die im Zuge des vorliegenden Projektes nicht vorgesehen waren.

Das Ergebnis der Regressionsrechnung ergab eine Korrelation der Werte nach Pearson von 0,922 sowie ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,850.

Das heißt, 85% der Variationen der reellen Geschwindigkeiten können mit diesem linearen Modell erklärt werden. Die Modellgüte ist demzufolge als hoch einzuschätzen.

Fazit

Die These, dass aufgrund der homogenen und sportiven Nutzergruppe die erzeugten GPS-Daten höhere Geschwindigkeiten aufweisen, konnte bestätigt werden. Die Daten sind also per se nicht als repräsentativ einzustufen. Jedoch kann diese Abweichung mittels eines linearen Zusammenhangs erklärt werden. Für den Fachplanerinnen und -planer ist es also, zumindest auf ebener Strecke, durchaus möglich aus den Daten auf reell gefahrene Geschwindigkeiten zu schließen. Für die Interpretation der Daten ist aber ohnehin die relative Geschwindigkeitsänderung als maßgebend anzusehen. Wichtig dafür ist der erbrachte Nachweis einer ähnlichen Geschwindigkeitsverteilung der Stichproben auf den betrachteten Kanten.

7.6 Wartezeiten

Ein wichtiger Punkt für die Bewertung von Radverkehrsqualität durch die Radfahrenden ist die Wartezeit an Knotenpunkten. GPS-Daten erscheinen hier auf den ersten Blick geeignet um die Wartezeiten über einen längeren Zeitraum abzubilden. Eine Gewöhnung und diesbezügliche Verhaltensanpassung der Radfahrenden ist dabei nicht auszuschließen. Die Wartezeit wird dabei meist über eine einfache Georeferenzierung aus den GPS-Daten erhoben. Im vorliegenden Datensatz von Strava wird dafür nicht nach Abbiegebeziehungen unterschieden, sondern der kumulierte Wert über alle realisierten Verkehrsbeziehungen angegeben.

Die Wartezeiten als solche werden referenziert auf den Knotenpunktdatensatz für ausgewählte Zeiträume übergeben. Im Folgenden werden die Wartezeiten für den Zeitraum Juni 2015 bis Juni 2016 betrachtet. Der Datenlieferant gibt dabei sowohl den Median der betrachteten Wartezeiten nach gewünschten Zeitscheiben (bspw. Stunden, Tage, Monate) sowie deren Quartile an. Einzelne Wartezeiten kann man aus dem gelieferten Datensatz „*ride_nodes_data.csv*“ auslesen.

Erste Ergebnisse des Strava-Datensatzes wiesen bei einer Überprüfung des Großraums Dresden unplausibel geringe Wartezeiten auf. Aufgrund dieser Tatsache wurden im Projektverlauf Referenzmessungen an mehreren Knotenpunkten der Stadt Dresden durchgeführt. Zu erkennen ist in Abbildung 54 der starke Anteil von Wartezeiten im 75 % -Perzentil von weniger als zehn Sekunden. Viele der untersuchten Wartezeiten liegen sogar im Bereich unter fünf Sekunden. Eine derart homogene Verteilung der aggregierten Wartezeiten ist für das gesamte Stadtgebiet in der Realität höchst unwahrscheinlich. Das Vorliegen einer systematischen Verzerrung, beispielsweise aufgrund der Eigenarten des genutzten Matching-Algorithmus, ist somit sehr wahrscheinlich.

Unabhängig von den Gründen der vermuteten Verzerrung sind die Wartezeiten in ihrer derartigen Form für die verkehrsplanerische Arbeit nicht sinnvoll nutzbar. Vor allem die Wartezeiten im Hauptnetz, welches bedingt durch Lichtsignalanlagen auch häufiger längere Wartezeiten aufweisen sollte, sind zu hinterfragen.



Abbildung 54: Wartezeiten an Knotenpunkten in Dresden

Daher wurden im nächsten Schritt die aggregierten Urdaten der Knotenpunkte einer genaueren Prüfung unterzogen. Für die Tiefenprüfung wurden hierbei die Knotenpunkte genutzt, die auch im Rahmen der Felderhebung untersucht wurden:

- Lennéplatz
- Chemnitzer Str. / Nöthnitzer Str.
- Ammonstraße / Freiburger Str.
- Winterbergstraße / Rennplatzstraße
- Tepitzer Str. / Dohnaer St.
- Kesselsdorfer Straße
- Räcknitzhöhe / Münzmeisterstraße
- Stauffenbergallee / Radeberger Str.
- Bautzner Str. / Schillerstraße

Bei der Auswahl der Querschnitte für die Feldmessungen wurde auf eine möglichst heterogene Knotenpunktgestaltung geachtet. Neben unterschiedlichen Größen (Anzahl der Fahrstreifen) und Verkehrsarten wurden auch unterschiedliche Geometrien berücksichtigt (3-armig, 4-armig) sowie unterschiedliche Steigungen im Knotenpunktverlauf. Anhand der Indizierung in den zwei vorliegenden GIS-Netzen (OSM; Stadt Dresden) konnten die Feldmessungen den Wartezeiten nach Strava zugeordnet werden. Es wurden zwei Netzgraphen verwendet, um anhand deren sehr unterschiedlichen Detailierungsgraden (vgl. Kapitel 3) Einflüsse der Netzgeometrie auf den Algorithmus zur Wartezeitenberechnung sichtbar zu machen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Netzgeometrie einen vergleichsweise großen Einfluss auf die Berechnung der Wartezeiten hat. Abbildung 55 zeigt sehr deutlich, dass weniger detaillierte Netze, wie das der Stadt Dresden („DD2016“) mit einer geringen Anzahl an parallelen (und damit auch kreuzenden) Kanten und demzufolge auch mit deutlich weniger Knotenpunkten im Kreuzungsbereich, den empirischen Daten deutlich näher kommen als ihr detaillierteres Pendant („OSM2015“).

Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass die Verteilung der Wartezeiten innerhalb der Strava-Urdaten⁷ (*nodes_ride_data*) nicht den reell zu erwartenden Wartezeiten entspricht. Vielmehr zeigte sich nach Gesprächen mit den Verantwortlichen des App-Providers Strava, dass statt Wartezeiten „Überquerungszeiten“ angegeben werden. Dies hat zur Folge, dass es viel zu wenige Wartezeiten von „0“, also per Definition ungehinderte Durchfahrten gibt. Dementsprechend werden die reinen Wartezeiten schon durch die Definition des Begriffes unterschätzt. Es wäre hier unbedingt sinnvoller, wenn neben den eigentlichen Wartezeiten der Prozentsatz unbehinderter Durchfahrten angegeben würde.

⁷ Minute-Data im Sinne von aufgelösten Einzelereignissen am betreffenden Knotenpunkt mit Zeitstempel. Die eigentlichen Urdaten liegen aus Datenschutzgründen nicht vor.

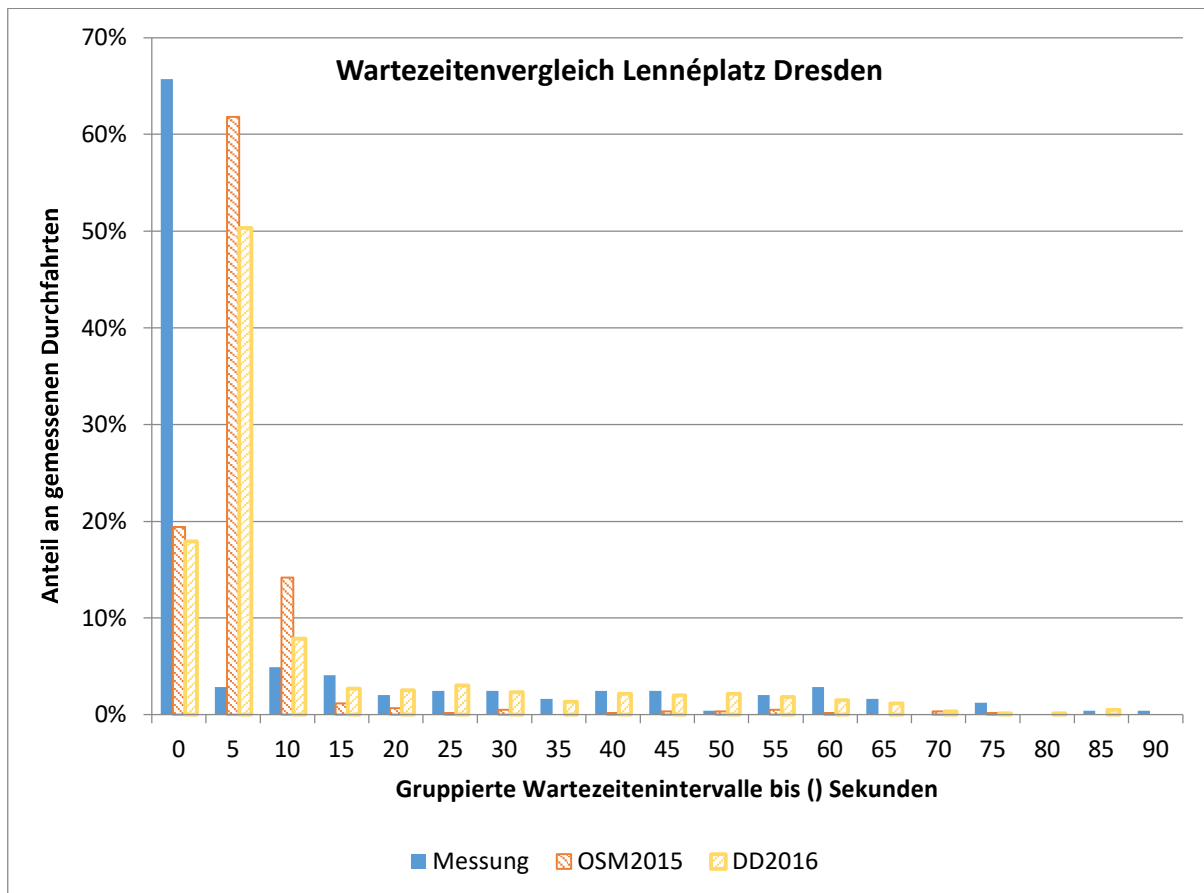


Abbildung 55: Wartezeitenanteile Lennéplatz, Strava auf Basis Openstreetmap und GIS-Daten der Stadt Dresden

Stattdessen ist für die beiden verwendeten Kartengrundlagen, wie in Abbildung 55 ersichtlich, ein hoher Anteil von Wartezeiten unter fünf Sekunden zu konstatieren. Des Weiteren ist vor allem für die detailliertere Kartengrundlage von OSM auch das Fehlen längerer Wartezeiten auffällig. Dieses Phänomen spiegeln auch die gemittelten Wartezeiten für die unterschiedlichen Datenbasen in Tabelle 8 wieder. Für alle untersuchten Knoten gilt:

Verglichen mit den Feldmessungen...

- ...ist die Anzahl der ungehinderten Durchfahrten zu gering.
- ...ist der Anteil kurzer Wartezeiten zu hoch.
- ...ist der Anteil langer Wartezeiten deutlich zu niedrig.
- ...und ist der Mittelwert der Wartezeiten zu gering.

Tabelle 8: Mittelwerte der Wartezeiten für die betrachteten Knotenpunkte

Werteherkunft	MW_Wartezeit	MW_WZ_ohne „0“	Prozentsatz freie Durchfahrt
Messung	11,19	27,18	59
OSM_15	5,24	6,14	15
DD_16	6,81	7,70	11
OSM_fixed	2,72	6,26	55
DD_fixed	4,11	8,40	52

Aus Tabelle 8 lässt sich zudem entnehmen, dass die Anteile ungehinderter Durchfahrten in den Ursprungsdatensätzen der betrachteten Knotenpunkte für das GIS-Netz der Stadt Dresden und auch für das frei verfügbare OSM-Netz deutlich unter den in der Felderhebung ermittelten Werten liegen. Eine weitere Prüfung einzelner Knotenpunkte im Zuge der Felderhebung ergab in Rücksprache mit dem Datenanbieter, wie oben bereits erwähnt, dass anstelle freier Durchfahrten jeweils abhängig von der Geschwindigkeit der Radfahrenden die Reisezeiten angegeben wurden. Für den Knotenpunkt Lennéplatz in Dresden wird im Folgenden beispielhaft die durchgeführte Analyse nachvollzogen. In die statistischen Auswertungen gingen jedoch insgesamt neun Messpunkte der Feldmessung ein. Um die Reisezeiten des GPS-Datensatzes in Wartezeiten zu wandeln, wurde vereinfacht der Durchmesser des Pufferbereichs (20m) für die Wartezeitenermittlung durch die Firma Strava als Fahrtweg angenommen. Ebenso wurde eine mittlere Geschwindigkeit von 20 km/h angenommen. Daraufhin ergab sich eine Reisezeit von ca. 3,6 Sekunden für die Durchquerung der Pufferzone an den Knotenpunkten.

In einem weiteren Schritt wurde dieser Wert von den von Strava ermittelten Wartezeiten abgezogen. Die reorganisierten Werte sind jeweils mit dem Kürzel „fixed“ gekennzeichnet. Schon in Tabelle 8 ist ersichtlich, dass der Anteil der ungehinderten Durchfahrten nun wesentlich eher dem beobachteten Verkehrsablauf entspricht. Dieses vereinfachte Vorgehen ist deswegen naheliegend, weil die Berechnung der Wartezeiten systemintern durch die Subtraktion der Zeitstempel bei Eintreten und bei Verlassen der definierten Pufferzone operationalisiert ist.

Wie werden die Wartezeiten berechnet?

An dieser Stelle lohnt ein vertiefender Blick auf die Systematik der Wartezeitberechnung und der sich daraus ergebenden Problemstellungen.

Laut Anbieter wurden die Wartezeiten zum Zeitpunkt des Datenbezuges statisch in einem bestimmten Radius um den geografisch verorteten Knotenpunkt erfasst. Es werden dafür der Zeitstempel des ersten GPS-Datenpunktes bei Einfahrt in den Pufferradius und der letzte Zeitstempel bei Ausfahrt aus dem Pufferradius voneinander subtrahiert. Diese Herangehensweise ist durchaus pragmatisch. In größeren Datensätzen können leicht mehrere zehntausend Knotenpunkte enthalten sein. Dies kann eine derartige Vereinfachung der Behandlung der zum Teil komplexen Knotenpunktgeometrien erfordern. Ein Knotenpunkt kann, abhängig vom Detaillierungsgrad des verwendeten GIS-Netzes, zudem aus einem oder mehreren Knoten („Nodes“) und mindestens drei oder mehr Kanten („Edges“) bestehen. Abbildung 56 stellt hier eine eher einfache Knotenpunktgeometrie in Form eines Knotens und fünf anschließenden Kanten aus dem wenig detaillierten Netz der Pilotkommune dar. Die Kanten in westlicher Richtung symbolisieren zwei getrennte Fahrtrichtungen und ein mittiges Gleisbett.

Diese einfache Darstellung birgt zunächst den Vorteil, dass es nur einen GIS-Knoten gibt, auf den die Wartezeiten projiziert werden. Somit kommt es nicht zu Zuordnungen der Radfahrenden zu falschen oder sogar zu mehreren Knotenpunkten (Duplikate). Es kommt jedoch infolge der sehr stark vereinfachten Darstellung auch ein gravierender Nachteil zum Tragen – die Komplexität unterschiedlicher Halte- und Abbiegevorgänge kann durch einen statischen Puffer, wie er von Strava verwendet wird, nur noch ungenügend abgebildet werden. Wie in Abbildung 56 dargestellt, werden die eigentlichen Haltepunkte der Radfahrenden im eingetretenen, ungünstigsten Fall nicht mehr, oder nur noch am Rande erfasst.

Ein größerer Puffer, in Abbildung 56 in Rot dargestellt, kann wiederum für Knotenpunkte mit deutlich geringerer räumlicher Ausdehnung zu sehr hohen „Durchfahrtszeiten“ führen.

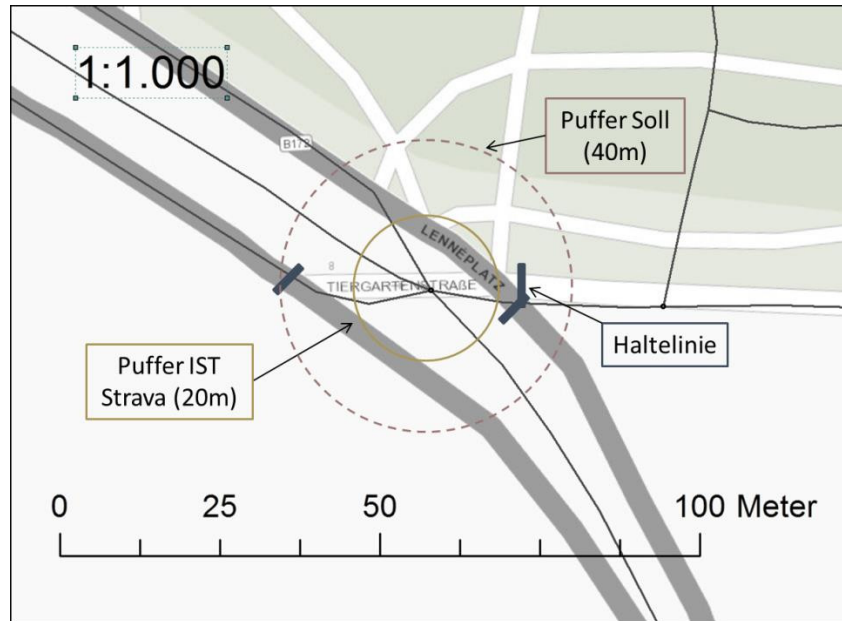


Abbildung 56: Schema für die Wartezeitenberechnung nach Strava

Gleiches gilt auch für komplexere Knotenpunkte mit mehreren „Nodes“. Hier ist davon auszugehen, dass sich bei einheitlich größeren Pufferradien die Anzahl der Duplikate deutlich erhöht. Die aktuelle statische Betrachtung der Wartezeiten aufgrund zweier Zeitstempel und einem 20m Radius kann also kaum den Anspruch erheben, flächendeckend valide Daten zur Verfügung zu stellen.

Zudem ist zu beachten, dass der Datenprovider nur auf die durch Kommunen zur Verfügung gestellte Kartenbasis zurückgreift. Es ist zu erwarten, dass komplexere Algorithmen für die Berechnung von Wartezeiten oder das Map-Matching im Wesentlichen für Open Source Karten wie beispielsweise OSM entwickelt werden. Hier ist eine Passfähigkeit vorher mit dem Datenprovider gesondert abzustimmen.

Wie lassen sich die Strava-Daten interpretieren?

Führt man die eingangs erwähnte Anpassung der Wartezeiten über eine Verminderung um die reine Durchfahrtzeit durch, gleichen sich, wie in Abbildung 57 ersichtlich, die Anzahl sowie die Anteile der ungehinderten Durchfahrten den Messwerten an. Nicht gelöst wird auf diese Art die Problemstellung der fehlenden langen Wartezeiten. Jedoch erscheint nun ein Vergleich der ungehinderten Durchfahrten möglich. Diese sind nur ein schwaches Maß für die Qualität eines

Knotenpunktes aus Radfahrersicht und können durch überproportional häufig auftretende Abbiegebeziehungen problematische Beziehungen verdecken, jedoch sind sie je nach Wissenstand der nutzenden Institution für einen ersten Überblick geeignet.

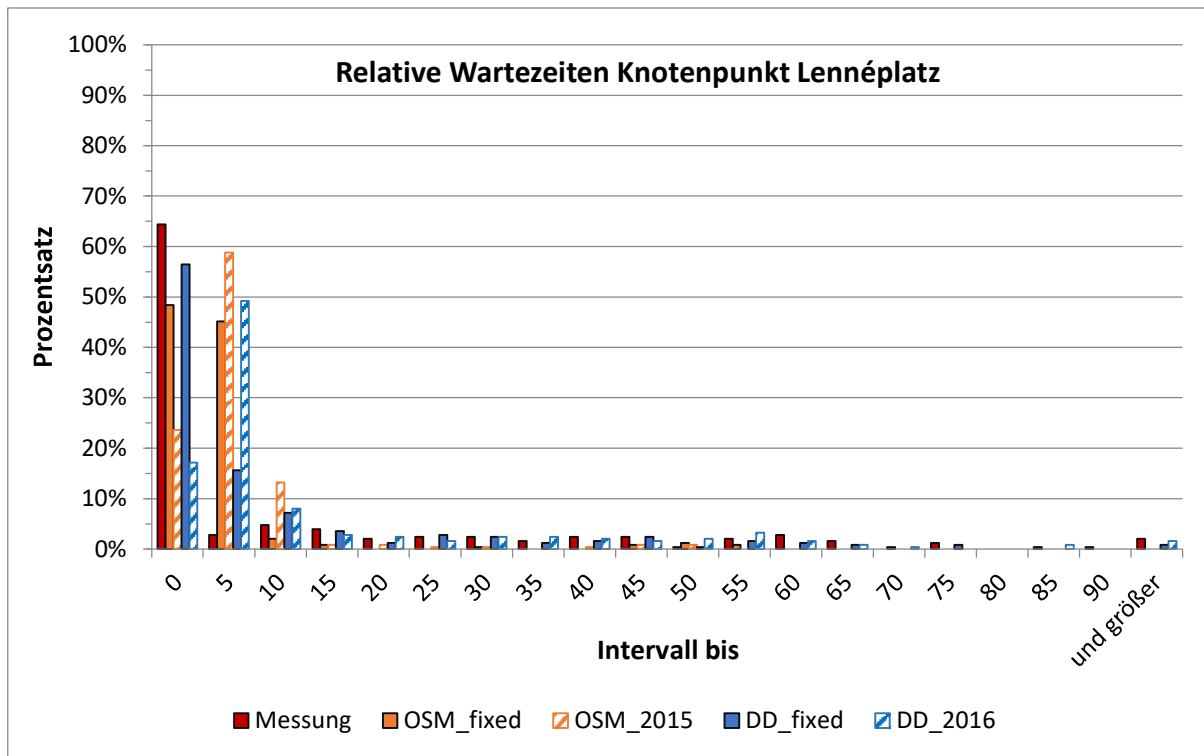


Abbildung 57: Absolute Darstellung der Wartezeiten am Knotenpunkt Lennéplatz, Dresden

Ungelöst bleibt auch der zu geringe Anteil an längeren Wartezeiten. Mutmaßlich ist dieser auf eine ungenügende Abbildung der reell vorliegenden Knotenpunktgeometrie zurückzuführen. Viele Radfahrende werden schlicht nicht an der jeweiligen Haltelinie erfasst, sondern erst später.

Methodisch ist weiterhin die Frage zu beantworten, inwieweit man von einer stichprobenhaften Messung an einem Tag auf die Vergleichbarkeit von über einen längeren Zeitraum vorliegenden Daten schließen kann. Hierfür wurden sowohl die Verteilung der Strava-Daten innerhalb der Wochentage, als auch die Verteilung der Wartezeiten in Monatsscheiben untersucht und mittels statistischer Verfahren überprüft.

Für den Vergleich der Wartezeiten wurde angenommen, dass diese innerhalb bestimmter Gruppen grundsätzlich unabhängig voneinander sind, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Fahrer beziehungsweise äußere Einflüsse, wie Wetter oder verkehrsabhängiger Steuerung von Lichtsignalanlagen, konstant sind. Da Wartezeiten und Ankunftszeiten in der Regel zudem nicht normalverteilt sind, wurde ein nichtparametrisches Testverfahren für unabhängige Stichproben gewählt.

Dafür wurden die GPS-Daten für die Knotenpunkte, an denen Messwerte vorlagen, auf den Zeitraum hinsichtlich der Uhrzeit gefiltert. Die Feldmessungen fanden jeweils von 7:45 Uhr bis 10:00 Uhr statt. Der Datensatz wurde für die jeweiligen Knotenpunkte also auf die Stundenwerte sieben bis zehn gefiltert. Anschließend wurden die jeweiligen Wochentage und Monate der GPS Daten dem Datensatz hinzugefügt und ebenfalls als Filterparameter verwendet. Mittels dieses Vorgehens wurden Gruppen für die einzelnen Monate und Wochentage erzeugt. Die ordinalskalierte Variable war dabei jeweils der Monat bzw. der Wochentag, die metrisch skalierte Variable die zugeordnete Wartezeit. Anschließend wurden die erstellten Gruppen mittels des Kruskal-Wallis-Tests für unabhängige Stichproben auf die Ähnlichkeit ihrer Verteilung getestet. Sowohl für die Verteilung innerhalb der Tagesscheiben einer Woche als auch für die Monate innerhalb eines Jahres konnte die Nullhypothese einer ähnlichen Verteilung, wie in Abbildung 58 beispielhaft für den Knoten Lennéplatz dargestellt, angenommen werden.

Hypothesentestübersicht				
	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von WZ_Lenne ist über die Kategorien von Monat identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	,593	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Abbildung 58: Hypothesentestübersicht Verteilungen von Wartezeiten über Monate. Ort: Lennéplatz Dresden

Dies bedeutet, dass die Verteilung von Wartezeiten sich weder im Jahresgang noch im Wochengang signifikant voneinander unterscheiden. Folglich ist es möglich die Wartezeiten von GPS-Datensätzen, beispielsweise über Wochentage, zu mitteln, und mit Stichproben zu vergleichen.

Fazit

In der vorliegenden Form sind die Wartezeiten ohne massive, korrigierende Eingriffe nicht von Dritten nutzbar. Mit einigen Eingriffen erlauben sie aber zumindest eine oberflächliche Bewertung von Knotenpunkten anhand des Anteils an ungehinderten Durchfahrten. Der systematische Fehler bei der Berechnung der Wartezeiten aus den GPS-Minutendaten bedeutet gleichwohl nicht, dass die Daten grundsätzlich nicht repräsentativ für die Gesamtheit der Radfahrenden sind. Zumindest die Verteilung der ungehinderten Durchfahrten lässt hier eher auf eine Repräsentativität der Daten schließen. Da die Daten sowohl im Jahres- als auch im Wochenverlauf eine ähnliche Verteilung aufweisen, ist hier eine starke Differenzierung nicht nötig und aufgrund der teilweise geringen Fallzahlen im Nebennetz auch nicht zielführend. Eine bessere Berechnungssystematik vorausgesetzt, können GPS-basierte Wartezeiten zukünftig als geeignete Indikatoren für die Knotenpunktbewertung aus Radfahrersicht gelten. Vielversprechende Ansätze diesbezüglich verwendet beispielsweise der Anbieter BikeCitizens.

7.7 Analyse der Pendlerfahrten

Wie in Kapitel 7.1 erwähnt, kommt der Analyse der als Pendlerfahrten bezeichneten Routen eine größere Bedeutung zu. Hier gilt es, vor dem Hintergrund einer generellen Einordnung der Daten, zunächst zu prüfen inwieweit die Klassifizierung der „Commutes“ nach Strava der im europäischen Raum gültigen Definition entspricht.

Definition von Pendlerfahrten

Nach der internen Dokumentation durch den Anbieter werden „Commutes“ vor allem durch ein Point-to-point Matching-Verfahren identifiziert. Hierbei werden

besonders häufig gefahrene Relationen zwischen Quelle und Ziel als regelmäßig und demzufolge auch als Pendler- bzw. Alltagsfahrt eingestuft (Strava LLC, 2016). Quelle und Ziel müssen dabei mindestens einen Kilometer voneinander entfernt sein. Mit diesem Verfahren können laut Herstellerangaben circa 98% aller durch die Nutzerschaft als Pendelfahrten angegebenen Fahrten erkannt werden sowie eine größere Anzahl an Fahrten, die durch die Nutzerinnen und Nutzer nicht als solche gekennzeichnet wurden, aber dennoch die entsprechenden Kriterien erfüllen. Nicht verwendet werden aktuell Teile des Routennamens, da diese besonders im Englischen wenig eindeutig sind. Ebenso wird die Möglichkeit einer Kennzeichnung der Fahrten durch die Nutzerinnen und Nutzer aktuell nur zu Referenzzwecken verwendet. Dies liegt zum einen an der geringen Nutzungsrate der entsprechenden Funktion „*Flag as Commute*“, zum anderen ist im internationalen Gebrauch die Definition einer Alltagsfahrt recht unterschiedlich, so dass die Definition der Nutzenden noch deutlichere Abweichungen hervorbringen dürfte.

Dieses Vorgehen entspricht formell nicht der in Europa bzw. der Bundesrepublik oder Wissenschaft gängigen Definition einer Pendelfahrt in Sinne eines regelmäßigen Weges zwischen Wohnort und Arbeits- oder Ausbildungsplatz bei denen die Gemeindegrenzen überschritten werden. Vergleicht man hierzu das in der Verkehrsplanung genutzte System von Quelle-Ziel-Gruppen, fehlen in der Definition zumindest die dem Wegezweck zugrunde liegenden Flächennutzungsmerkmale wie „Wohnen“, „Arbeiten“, „Einkaufen“ oder „Bildung“ (Schnabel & Lohse, 1997, S. 104ff). Diese Wege werden durch die Definition nach Strava so lange eingeschlossen, wie sie im System nicht als Wegekette mit gleichem Start- und Zielpunkt vorliegen. Es ist also Voraussetzung, dass App-Nutzende die Wege nach dem Erreichen von Zwischenzielen speichern und in das System hochladen. Klassische Rundfahrten wie:

Wohnung → Kindertagesstätte → Arbeit → Kindertagesstätte → Wohnung

werden andernfalls nicht als Alltagsfahrten erkannt.

In die Definition eingeschlossen werden aber weitere, häufig wiederkehrende Fahrten, wie beispielsweise beliebte Trainingsfahrten von Rennradfahrenden oder Radrennen bzw. deren Etappen. Hier scheint es gewollt zu sein, möglichst viele Alltagsfahrten als solche zu markieren und etwaiges „Rauschen“ zu Gunsten einer möglichst hohen Anzahl von Pendlerfahrten in Kauf zu nehmen.

Validierung des Ansatzes mittels Wegelängen

Ziel der Validierung ist es, die Qualität dieses Modellansatzes zu prüfen. Die Hauptproblemstellung ist dabei jedoch der fehlende Zugriff auf die Routendaten als solche. Als Indikator wird stattdessen auf die Wegelänge zurückgegriffen. Diese wird über die Quelle-Ziel-Matrix geschätzt. Der Schätzung zugrunde liegt die Annahme von gleichmäßig durchfahrenen Polygonen innerhalb der Matrix. Diese werden für Einzelfahrten als Array innerhalb der Quelle-Ziel-Gruppen-Darstellung abgelegt. Die Kantenlänge der Polygone beträgt dabei 1km. Über die Anzahl der Polygone kann dabei die Fahrtweite grob abgeschätzt werden, wenngleich der Fehler in Einzelfällen sehr groß sein kann. Hierfür wurde zusätzlich aus Stichproben für Fahrten <10 km der Umwegfaktor 1,25 eingeführt.

Dies erscheint vor dem Hintergrund der reellen Durchschneidung der Polygone als sinnvoll. Abbildung 59 zeigt die Systematik für einen Weg zwischen dem Stadtteil Chemnitz-Kaßberg und der Kommune Hartmannsdorf. Die kürzeste Route laut GoogleMaps beträgt 11,7 km. Dabei werden 15 Polygone geschnitten, nach Modellrechnung also 15km zurückgelegt. Die Differenz zwischen kürzester Route und berechneter Routenlänge beträgt also Faktor 1,28. Diese Methodik wurde für eine Reihe von einzelnen Wegen (N = 26) durchgeführt und resultierte in oben erwähntem Faktor von 1,25.

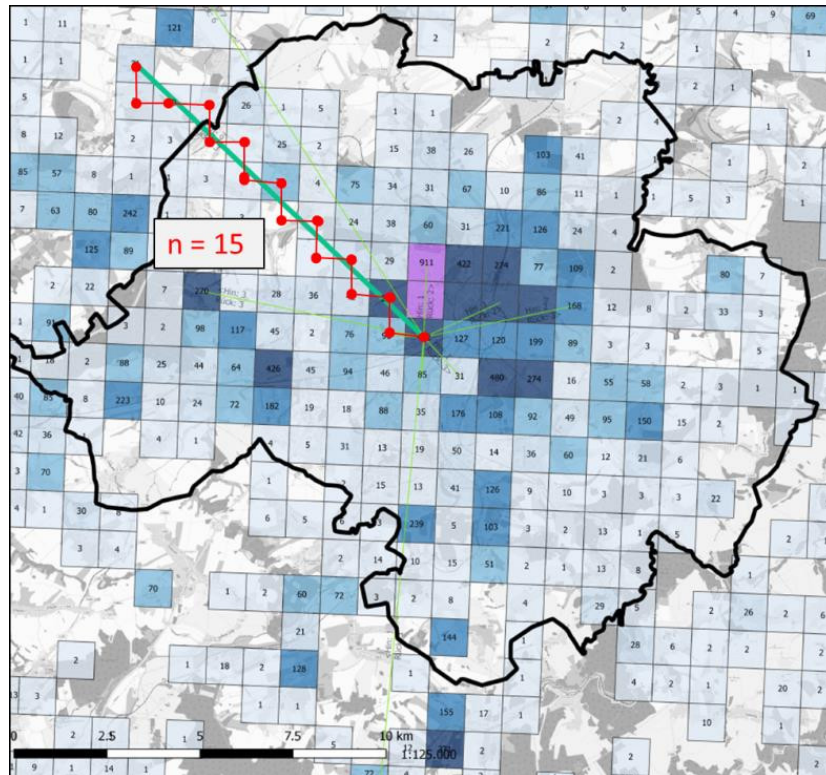


Abbildung 59: Berechnungsmethodik Wegweiten aus QZ-Matrix, Beispiel Quellverkehr Chemnitz-Kaßberg

Abbildung 60 gibt Aufschluss über eine Reihe interessanter Punkte innerhalb der Überprüfung des Strava-Modells. Zum einen sind innerhalb der vergleichsweise kurzen Wege bis 10 km die Anteile der als Alltags- oder Pendlerfahrten erkannten Fahrten sehr hoch. Systembedingt trifft dies nur bedingt auf die sehr kurzen Wege bis 3km zu. Hier werden Wege unter 1km Entfernung systematisch nicht als Commute erkannt. Dies senkt natürlich auch den Anteil der „Commutes“ an den Wegen bis 3km Entfernung.

Weiterhin kann beobachtet werden, dass mit zunehmender Entfernung der Anteil der Alltagsfahrten an den Fahrten in der Entfernungsklasse schwindet. Auch hier scheint der Algorithmus plausible Werte zu generieren. Jedoch wäre zu erwarten, dass Alltags- oder Pendlerfahrten, selbst bei sportiven Fahrern ab einer Entfernung von 25km ausbleiben. Da aber sogar bei Fahrtweiten >75km noch ein relevanter Anteil an „Commutes“ erkannt wird, liegt es nahe, dass hier eine Nutzungsmischung mit dem Wegezweck Freizeit, bzw. einer Sport- oder Trainingsfahrt erfolgte. Dies kann beispielsweise die eingeschobene Rennradrunde

nach dem Feierabend auf dem Heimweg sein. Die Daten sind also erklärbar, wenn auch vor dem Hintergrund der Zielstellung Alltagsfahrten als solche zu klassifizieren, nicht zufriedenstellend. Hier wäre nun ein Absprungpunkt bei einer Entfernung von 25-30 km anzuraten, damit nur gerade solche Fahrten noch als Pendlerfahrten deklariert werden. Im weiteren Verlauf ist durch räumliche Überschneidungen beim Mapmatching ein Einfluss dieser Fahrten auf den Gesamtanteil an Pendlerfahrten bzw. „Commute_counts“ durchaus vorhanden und für Kommunen nicht trivial überprüfbar. Betrachtet man nur die Wege bis 25km, denn andere sind aufgrund des faktischen Ausschlusses von Rundwegen schlicht sehr unwahrscheinlich, dann sinkt die Anzahl der Alltagsfahrten von 53% auf 40%. Dies ist als durchaus optimistische Schätzung zu verstehen, da Alltagswege zumeist bidirektional sind und somit in einer täglichen Fahrtweite von 50km resultieren würden. Eine konventionellere Schätzung von 15km als obere Grenze für eine Definition als Alltagsweg würde den Anteil gar auf 29% sinken lassen.

Untenstehende Abbildung 60 könnte trotz unterschiedlicher Klassenbreiten sogar noch konservativer interpretiert werden, indem man die Senke bei der oberen Klassengrenze von 9km als Ende der Alltagsfahrten und den anschließenden starken Anstieg innerhalb der Klassengrenze bis 14km als Beginn der Freizeitfahrten deutet.

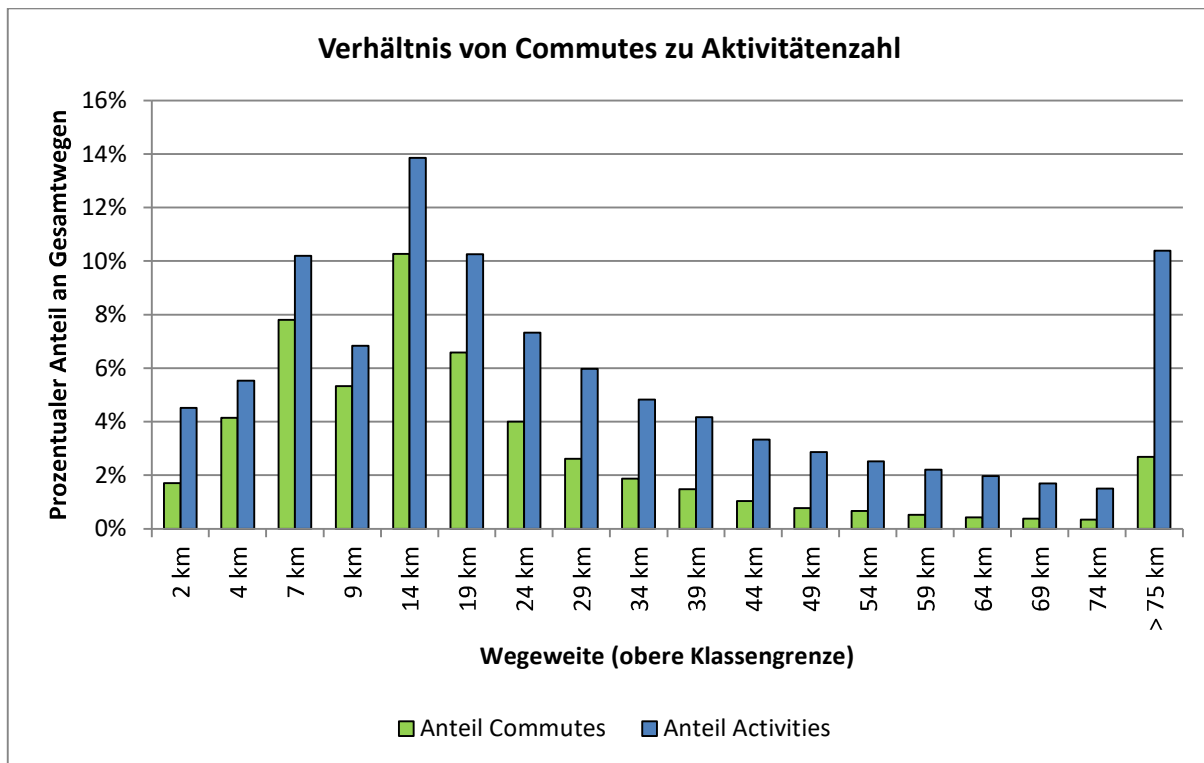


Abbildung 60: Verteilung der Anteile Alltagsverkehr über Wegelängen

Diese Vermutung lässt sich zumindest durch die Ergebnisse des Städtevergleichs von Mobilität in Städten – SrV 2013 stützen (Ahrens, 2015). Demnach ist die durchschnittliche Reisezeit pro Weg mit dem Rad für die Stadt Dresden mit 20 Minuten anzusetzen. Dies ergibt bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 26 km/h der Strava-Nutzenden eine Entfernung von 8,7 km für einen durchschnittlichen Alltagsweg. In diesem Falle würde der Anteil der reinen Alltagsfahrten auf 19% aller aufgezeichneten Fahrten sinken.

An dieser Stelle ist die Interpretation der Daten jedoch keineswegs eindeutig. Es bleibt davon auszugehen, dass ein Minimum von 19% aller Fahrten Alltagsfahrten im herkömmlichen Sinne sind. Im Maximalfall können ca. 53% aller Fahrten als solche bezeichnet werden. Nun obliegt es also durchaus der Sichtweise der Planenden hier die Datengüte zu schätzen. Vor dem Hintergrund einer gemeinsamen Infrastrukturnutzung von Alltags und Sportfahrern kann hier jedoch durchaus zu einer Nutzung der Daten geraten werden.

Validierung des Ansatzes – Prozentsätze

Als weiterer Ansatz zur Validierung erscheint die anteilige Verteilung der Alltagsfahrten geeignet.

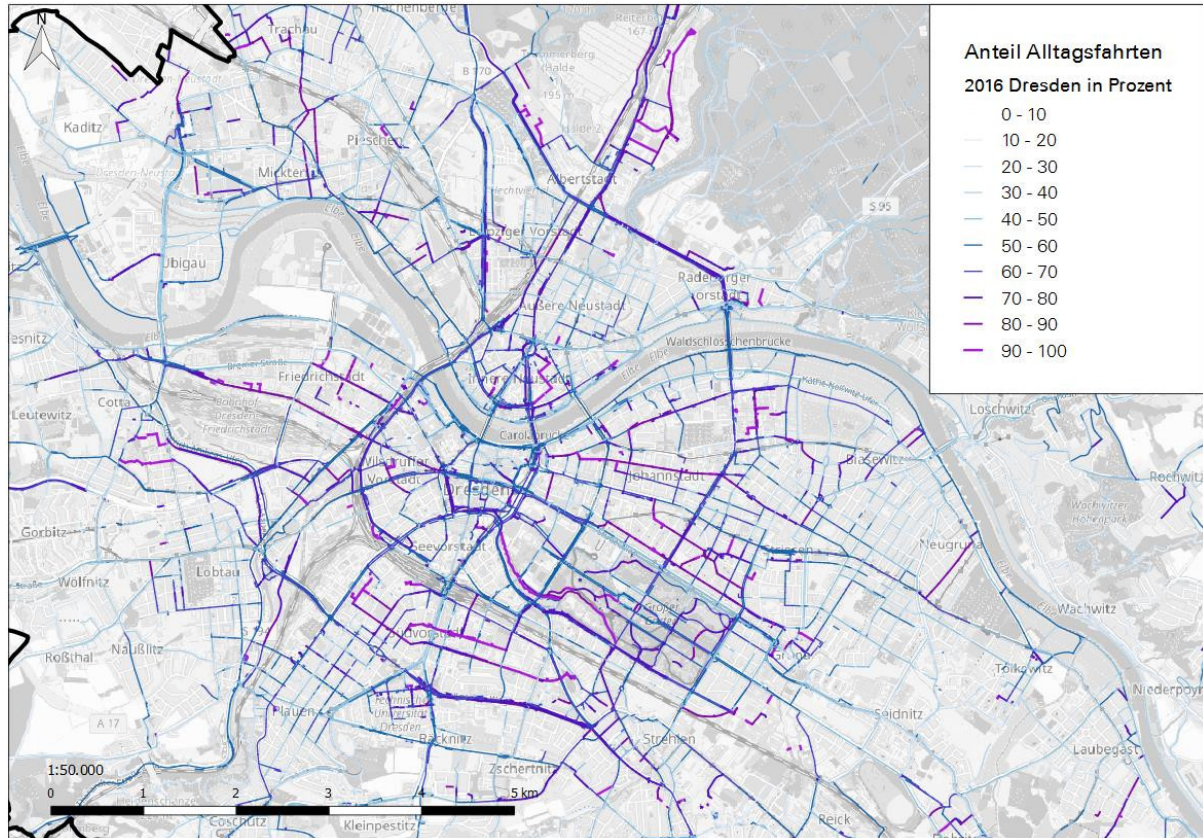


Abbildung 61: Anteil der Alltagsfahrten/Commutes auf Kanten in Dresden 01-06/2016 nach Strava Definition

Anhand dieser soll geprüft werden, ob eine erwartet hohe Konzentration in Nähe großer Arbeitgeber oder von Wohnstandorten im Innerortsbereich vorliegt, oder ob es auffällige Strecken mit hohen Prozentwerten gibt, die auf Lücken im Algorithmus hindeuten. Hierbei wird in Abbildung 61 visualisiert, dass die städtischen Hauptachsen im Radverkehr sehr hohe Anteile an Alltagsfahrten aufweisen, wohingegen dieser in den Randgebieten und im Bereich des Stadtwaldes stark absinkt. Des Weiteren sind häufig durch Sportlerinnen und Sportler genutzte Wege, wie der Elberadweg, gleichwohl im Innenstadtbereich, prozentual doch weniger stark durch Alltagsfahrten dominiert.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass es datenbankseitig an schwach belasteten Stellen auch zu Werten größer 100 Prozent kommen kann, beziehungsweise sehr hohe Anteile an Commutes durch die Datenbank ausgegeben werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn nur sehr wenige Fahrten auf dem betreffenden Element vorhanden sind. Werte größer 100% entstehen dabei durch eine doppelte Zählung des Parameters „*commute_cnt*“. Mutmaßlich entsteht dies durch geringe Abweichungen während des Mapmatchings. Dies wurde im Fall der Visualisierung in Abbildung 61 durch das Setzen eines Filters auf den Wert „*activity_cnt*“ vermieden. So werden nur Kanten mit mehr als 10 Fahrten im Beobachtungszeitraum angezeigt.

Fazit

Der durch den Datenanbieter verwendete Ansatz zur Separation von Fahrten mit rein sportivem bzw. freizeitorientiertem Hintergrund von denen mit einem eher alltäglichen Charakter liefert im Nahbereich plausible Ergebnisse. Durch die wahrscheinliche Vermischung von Sportfahrten mit alltäglichen Zielen durch die App-Nutzenden werden jedoch auch Fahrten, die nicht im klassischen Sinne der alltäglichen Mobilität zugeordnet werden, als Alltagsfahrten klassifiziert. Dies spiegelt sich jedoch in der verwendeten Verkehrsmengenkarte zumindest in der Kernstadt kaum wider. Die verwendeten Algorithmen zur Datenklassifikation sind zukünftig daher zu überarbeiten.

7.8 Quelle-Ziel Darstellungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden häufig die Quelle-Ziel-Matrizen als eine mögliche Darstellungsform zitiert. Auch diese Daten bergen Möglichkeiten durch eine heterogene Stichprobe beeinflusst zu werden. So wird zunächst die räumliche Verteilung des Quellverkehrs anhand der Einwohnerzahlen der Quellverkehrszellen validiert. Diese basieren auf den Daten des Zensus 2011. Einschränkend ist hier zunächst zu erwähnen, dass Quellverkehre natürlich auch beispielsweise vom Arbeitsplatz ausgehen können. Hierfür wären weitere vertiefende Untersuchungen anzuraten. Zum Zeitpunkt der vorliegenden Studie standen die Arbeitsplatzdaten jedoch nicht zur Verfügung.

Mit dieser Einschränkung ist die statistische Auswertung der Quellverkehrszahlen nur begrenzt gültig, liefert jedoch einen ersten Überblick über die Datengüte.

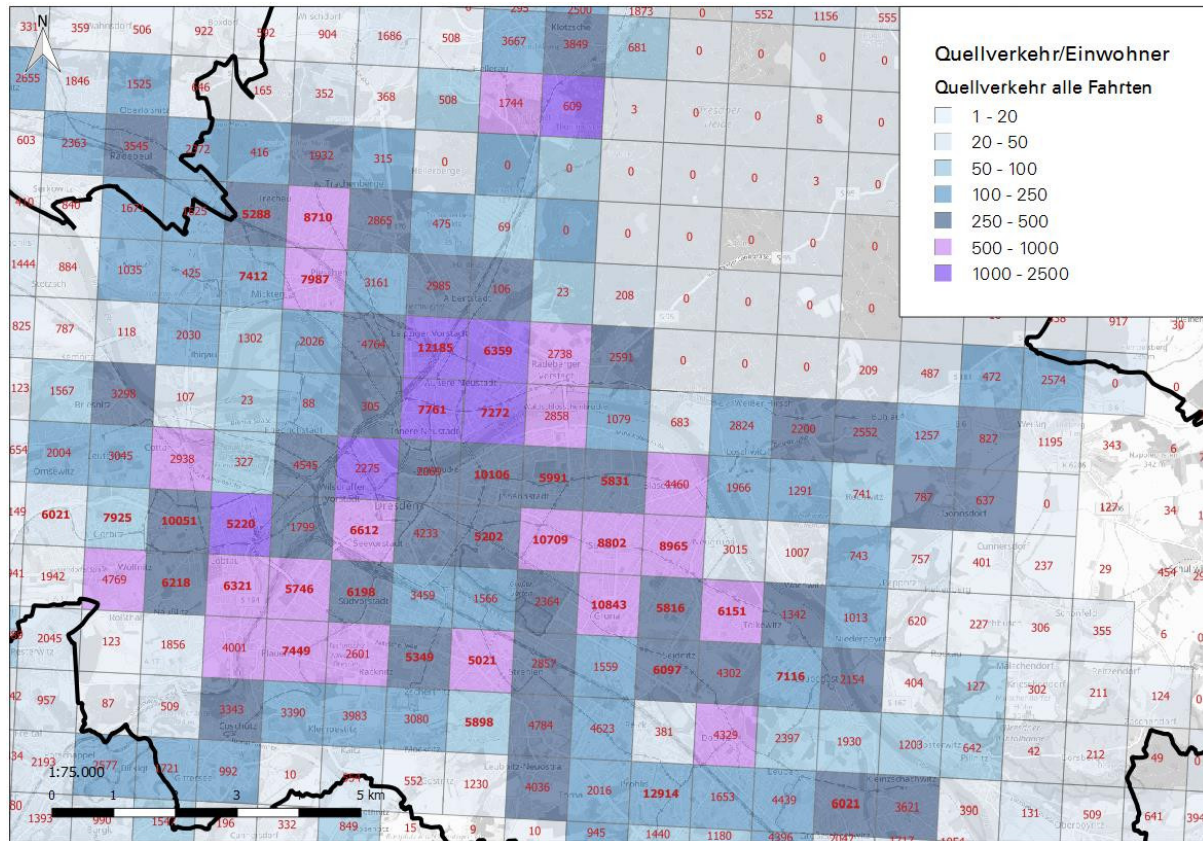


Abbildung 62: Vergleich der Quellverkehre (Alltagsverkehr) mit den Einwohnerzahlen der Stadt Dresden (Quelle: Zensus 2011)

Die Karte in Abbildung 62 visualisiert, dass für einige Quellverkehrszellen ein hoher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Einwohner und der Anzahl der ausgehenden Fahrten zu bestehen scheint. Dies lässt sich jedoch nicht für alle Quellverkehrsbezirke generalisieren. Einige Quellverkehrszellen mit hoher Einwohnerzahl, jedoch eher schwächeren sozialem Milieus weisen vergleichsweise geringe Fahrtenzahlen auf. Hier ist ein hoher Einfluss der heterogenen App-Nutzergruppe zu vermuten. Dieser resultiert in diesem Falle eventuell in einer Art sozialer Exklusion für Menschen mit geringerem Bildungsstand oder Einkommen. An dieser Stelle sind geeignete sozialwissenschaftliche Studien zu empfehlen.

Die statistische Auswertung liefert auf Basisniveau eine hohe positive Korrelation der Werte *Einwohnerzahl* und *start_activity_count* welcher die Anzahl der Fahrtbeginne beschreibt. Dafür wurde der gesamte Datensatz für das Untersuchungsgebiet⁸ im Zeitraum 01/2015-06/2016 ausgewertet. Es kann also davon ausgegangen werden, dass ein Zusammenhang der Werte besteht.

Die Wertausgaben für die Städte Berlin, Dresden, Chemnitz und Leipzig in Tabelle 9 zeigen, dass diese Korrelation lokal unterschiedlich stark ausgeprägt ist und stabil bei einem r von ca. 0,7 liegt.

Tabelle 9: Wertekorrelation zwischen Fahrtbeginn und Einwohnerzahl für untersuchte Städte

Ort	Steigung	Korrelation r	Bestimmtheit r^2	Korrigiertes r^2	Kovarianz	Anzahl Datensätze
Dresden	0,103765	0,6890955	0,4748526	0,4721664	583.818	394
Chemnitz	0,050298	0,6727321	0,4525685	0,4485580	153.053	276
Leipzig	0,061729	0,7029441	0,4941305	0,4913044	407.306	361
Berlin	0,060160	0,6782719	0,4600528	0,4589878	1.110.467	1017
Gesamt	0,052578	0,6602755	0,4359637	0,4359607	159.337	377048

Die Korrelation ist hier allerdings stark durch jene Gebiete mit sehr geringen Einwohnerzahlen und Abfahrtszahlen determiniert. Filtert man dementsprechend nach Abfahrtszahlen größer 100 und Einwohnerzahlen größer 0, dann sinkt die Korrelation auf ca. 0,6. In diesem Fall ist jedoch immer noch von einem starken positiven Zusammenhang zu sprechen (vgl.

Tabelle 10).

⁸ Sachsen, Brandenburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern

Tabelle 10: Wertekorrelation zwischen Fahrtbeginn und Einwohnerzahl für untersuchte Städte, gefiltert

"Korrelationskoeffizienten" nach Stadt gefiltert:			Für alle Quadrate mit start_activity_count > 100 und habitants > 0			
Ort	Steigung	Korrelation r	Bestimmtheit r^2	Korrigiertes r^2	Kovarianz	Anzahl Datensätze
Dresden	0,08138	0,528083	0,27887265	0,26794648	633.250	135
Chemnitz	0,041474	0,533665	0,28479906	0,24715691	265.874	41
Leipzig	0,055664	0,618575	0,38263509	0,36524453	611.764	74
Berlin	0,056864	0,586639	0,3441462	0,34082542	1.372.958	398
Gesamt	0,054464	0,589311	0,34728815	0,34696889	907.050	4092

8. Datenabgleich von subjektiven und objektiven Daten

Im Projektverlauf wurden neben den Daten aus der Strava-App auch subjektive Daten zu Routenwahlentscheidungen gesammelt. Ziel des Arbeitspaketes ist der Abgleich der in Kapitel 6.3 identifizierten Kriterien für eine Routenwahlentscheidung mit den Daten des GPS-Datensatzes. Die beiden stärksten Einflussparameter sind entsprechend der Befragung Umwegfreiheit und das Vorhandensein von Radverkehrsanlagen.

Die Identifikation von Umwegen lässt sich mit dem vorliegenden Datensatz nicht realisieren, da bei der Aggregation Informationen über Quellen und Ziele entfernt werden. Sollten diese Informationen vorliegen, müsste nach Ansicht der Quelle-Ziel-Matrix eine Umlegung der Routen auf das vorhandene Netz erfolgen. Ein entsprechendes Modell ließe sich in diesem Falle anhand der vorhandenen Radverkehrsmengen sehr gut kalibrieren.

Im Rahmen dieses Projektes bietet sich für den Abgleich mit den subjektiven Routenwahlfaktoren also vor allem das Vorhandensein von Radverkehrsanlagen an. Dies lässt sich auf Ebene einer GIS-Analyse mit Hilfe der vorhandenen Daten recht trivial lösen. So können anhand der Parameter „*activity_count*“ und der Kodierung der Infrastruktur auf dem jeweiligen Netzelement Summenwerte für die jeweiligen Fahrtenzahlen berechnet werden. Diese können anschließend mit der Länge der jeweiligen Infrastrukturklasse ins Verhältnis gesetzt werden. Aus der daraus

berechneten Dichte lässt sich, losgelöst von der Lage der Elemente im Netz, eine Grobabschätzung der Nutzung von Radverkehrsinfrastruktur erarbeiten. Hierbei sei jedoch explizit darauf verwiesen, dass bei einer derartigen Analyse weder die Kenntnis noch das Vorhandensein möglicher Alternativen mit einbezogen werden kann. Es handelt sich folglich um eine deskriptive Analyse.

Für die Durchführung wurden zunächst die in der Kartierung der Pilotkommune enthaltenen Codierungen mit Informationen zur Lage aufgenommen und in eine Kategorisierung nach Radverkehrsinfrastrukturelementen (vgl. Tabelle 11) überführt. Der Datensatz der Pilotkommune wurde gewählt, da hier von einer vollständigen Reliabilität der Daten ausgegangen werden kann. Die Daten des OSM-Netzes enthalten zwar viele weitere Informationen, wie z.B. Angaben über das Vorhandensein von Grünflächen, aber dafür ist die Bezeichnung der Radverkehrsinfrastruktur mitunter nicht eindeutig oder gar falsch.

Tabelle 11: Kategorisierung der Infrastrukturelemente nach ESKN der Stadt Dresden

Kategorie	VF Typen ⁹	Straßenzug	Typerklärung
MischPKW	FA_KF, GBR	-	Kombinierte Fahr- und Gehbahn, Gehbahn („Rad frei“)
MischFuss	FA_GR, FA_FR, RG, FA_KR, KR	ERA	Gehweg („Rad frei“), Fußgängerzone („Rad frei“), Radfahrstreifen auf gemeinsamen Geh- und Radwegen, Gemeinsamer Geh- und Radweg, Kombinierte Geh- und Radbahn
Radweg	RB, FA_RW	-	Radbahn, Fahrbahn-Radweg
Radfahrstreifen	RS	-	Eine Unterscheidung von Radfahrstreifen und Angebotsstreifen, die zum Mischverkehr zählen, ist nicht möglich!
Sonstige	Alle anderen	-	¹⁰

Der Elberadweg beispielsweise, muss als Sonderfall betrachtet werden. Er ist in den Daten meist als VF-Typ FA_FB (Fahrbahn mit ein oder zwei Fahrstreifen) kategorisiert. Dieser Typ müsste eigentlich der Kategorie „MischPKW“ zugeordnet

⁹ Verkehrsflächentypen

¹⁰ Bezeichnungen nach STRAGIS- Dokumentation LH DD, STA

werden. Da die Fahrstreifen des Elberadwegs allerdings nicht für PKW zugelassen sind, wurde er, unabhängig vom VF Typ, der Kategorie „MischFuss“ zugeschlagen.

Für die Berechnung der Belegung der entsprechenden Kanten der Pilotkommune wurden die vom Provider gelieferten Daten der Zeitscheibe 06/2015-06/2016 verwendet. Es wird im Zuge der Berechnung zudem nach richtungsbezogenen und nicht richtungsbezogenen Typen unterschieden. Dabei haben einige (FA_F3, FA_FR, FA_KR und FA_RW) keinen Richtungsbezug, andere (FA_FB, FA_GR, GBR, RB, RG und RS) schon. Bei den richtungsbezogenen Verkehrsflächentypen wird über die ausgewiesene Lage der Richtungsbezug zu den Fahrtdaten nach Strava hergestellt, wobei hier bei der Lage ‚L‘ der neu erstellte Zählparameter „rdaycnt_interpolated“, bei der Lage ‚R‘ der „daycnt_interpolated“ und bei der Lage ‚M‘ der „tdaycnt_interpolated“ zur weiteren Berechnung verwendet wird. Dies ist möglich, da die Kanten in beiden Datensätzen den gleichen Richtungsbezug haben.

Zur Vermeidung von Doppelberechnungen werden doppelte Kanten gefiltert. Bei nicht richtungsbezogenen VF-Typen werden dazu überschüssige Kanten mit gleichem Schlüssel gestrichen. Als richtungsbezogene VF-Typen gelten solche, die den gleichen Schlüssel und die gleiche Lage aufweisen.

Dadurch werden jedoch nicht alle Doppelberechnungen eliminiert. Dieser Effekt kann z.B. bei einer Kombination der Lagen ‚M‘ und ‚L‘ bzw. ‚R‘ an einer Kante auftreten, wenn ein richtungsbezogener Typ für die Kanten vergeben wurde (ein Beispiel dafür ist die Uferpromenade). Außerdem kann der Effekt bei der Mischung von richtungsbezogenen und nicht-richtungsbezogenen Typen an einer Kante auftreten.

Sowohl für die Summe der Fahrten auf einem Element (vgl. Abbildung 63), als auch für die Summe der Elementlängen für einen Typ im Stadtgebiet ist also, bedingt durch die Datenbankabfrage, ein geringer Zuordnungsfehler zu erwarten. In Summe ist es daher möglich, dass die ausgegebene Gesamtkantenlänge die reell vorhandene übersteigt.

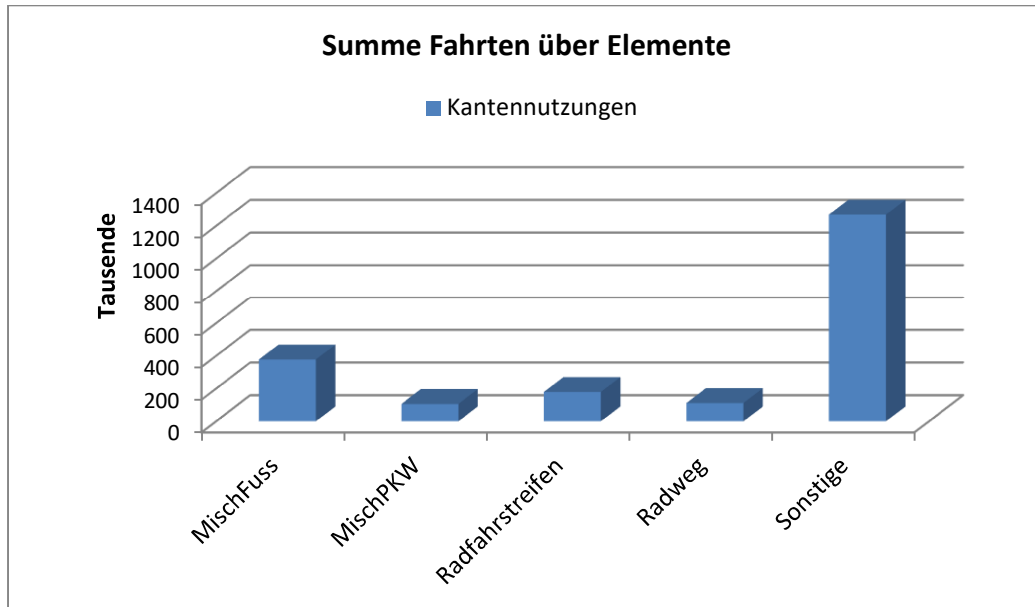


Abbildung 63: Summe der Fahrten über die Netzelemente in Dresden 06/2015-06/2016

Zur Berechnung der Gesamtlänge, wie in Abbildung 64 dargestellt, werden die Längen der Kanten typenfein zusammengerechnet. Dabei werden Kanten, die nicht richtungsbezogen sind, einfach gewichtet.

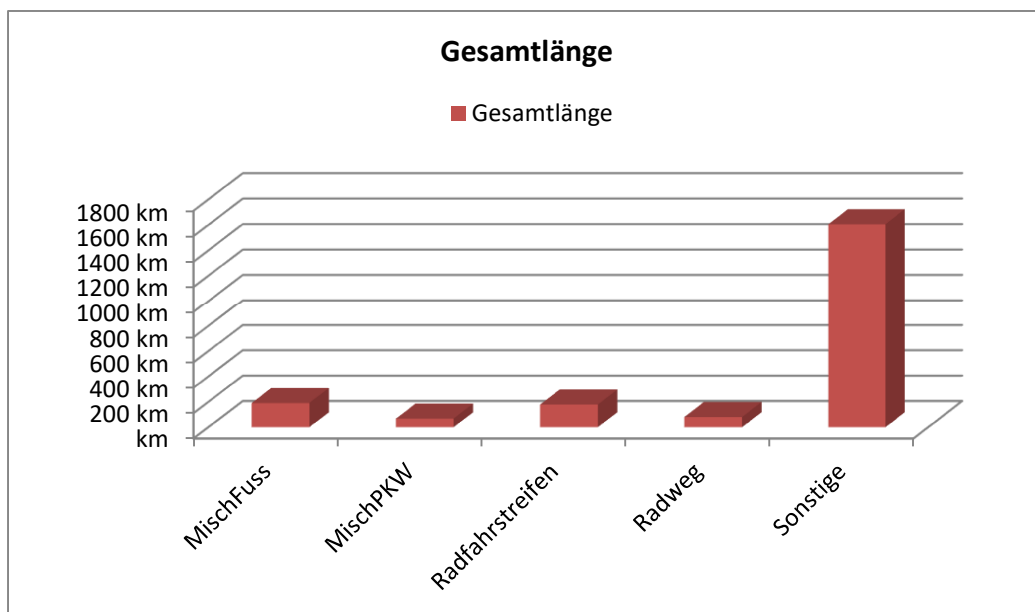


Abbildung 64: Gesamtlänge der Netzkanten nach ESKN der Pilotkommune

Das heißt: die angegebene Gesamtlänge stellt keine richtungsbezogene Länge des Radwegenetzes dar. Aus dem Verhältnis von Anlagenlänge und Fahrten über einen

Elementtyp ergibt sich damit eine fiktive Nutzungsdichte für die einzelnen Verkehrsflächenklassen (vgl. Abbildung 65).

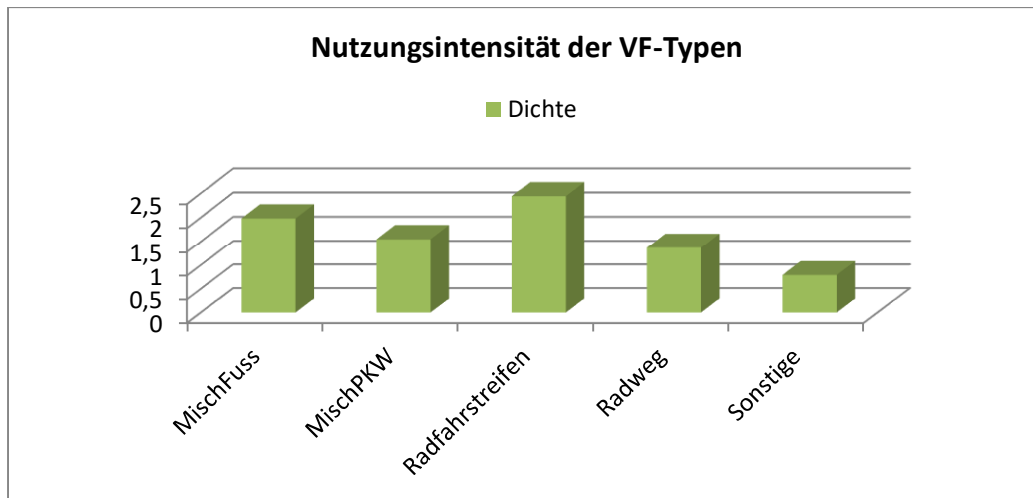


Abbildung 65: Fiktive Nutzungsdichte der Netzkanten durch Strava-Nutzer

Hierbei zeigt sich deutlich, dass vor allem Radfahrstreifen und die Führung mit dem Fußgängerverkehr priorisiert werden. Letzteres ist klar durch die Einordnung des in dieser Kategorie dominierenden Elberadweges als „MischFuss“ beeinflusst und zeigt die Schwierigkeit rein auf Geodaten basierender Analysen. Hier liegt die Vermutung nahe, dass nicht die gemeinsame Führung mit dem Fußgängerverkehr die ausschlaggebende Variable Nutzung sei, sondern die Lage im Grünraum und die Entfernung zum fließenden Kfz-Verkehr. Letztlich zeigen sich aber im Zuge dieser Analysen auch die Ergebnisse aus Kapitel 6.3. Sowohl der Parameter „Vorhandensein von Radverkehrsinfrastruktur“ als auch die Parameter „Verkehrsstärke des MIV“ und „Führung im Grünraum“ bzw. „Lärm- und Abgasbelastung“ lassen sich mittelbar und unmittelbar durch die aggregierten Nutzerzahlen der Strava-Nutzenden nachweisen. Hierbei ist jedoch das geringe statistische Niveau der Untersuchung zu beachten – wie schon mehrfach beschrieben ist die Zusammensetzung des Kollektivs der Strava-Nutzenden unbekannt und auch die Stichprobe der befragten Radfahrenden ist nicht repräsentativ für die Grundgesamtheit der Radfahrenden. Gleichwohl ist dieser erste Versuch geeignet, die Richtung für weitere, auch statistisch sicherere Analysen dieser Art, vorzugeben.

Hierfür ist zum einen ein konsistenter Netzgraph, der sich um weitere Informationen ergänzen lässt, und zum anderen das Vorhandensein einer repräsentativen Stichprobe für die realisierte Routenwahl von Radfahrenden sowie der Zugriff auf Routendaten im Zuge der Analyse von GPS-Daten notwendig. Inwieweit die gewonnenen Erkenntnisse über die Nutzerpräferenz und das geäußerte Nutzerverhalten beispielsweise Eingang in erweiterte, vertiefende Hochrechnungsverfahren für Verkehrsmengen finden können, ist noch fraglich. Für diesen Schritt ist kommunal ein einheitliches Labeling der einzelnen Klassen nötig, die den Verkehrsflächen zugeordnet werden. Dies bedeutet einen recht hohen auch personellen Aufwand, der, wie in den Expertengesprächen deutlich wurde, aktuell nicht vorstellbar ist. Daher wurde dieser Punkt zugunsten einer neuen Schwerpunktsetzung hin zu einem für den Einstieg ins Thema geeigneten Leitfaden nicht weiter vertieft.

9. Entwicklung von Ansätzen zur Visualisierung der Ergebnisse

Die Entwicklung von Ansätzen zur Visualisierung soll an dieser Stelle bewusst losgelöst von Ideen für die graphische Ausgestaltung einzelner Sachverhalte oder Parameter betrachtet werden. Es ist essentiell zu hinterfragen, welche Möglichkeiten der Visualisierung sich für Städte bieten. Hierbei kann man den Sachverhalt der Einfachheit halber in Information und in Kommunikation trennen. Ist es für Betrachtende nur möglich, Informationen aus den Darstellungen zu entnehmen und nicht zu interagieren, bewegt man sich auf dem Niveau einfacher Informationsvisualisierung, wie es via Webseite oder Printprodukten auch bisher der übliche Weg für Städte ist, um Sachverhalte nach außen zu kommunizieren. Eine interaktive Informationsaufbereitung hingegen bietet die Möglichkeit individuelle Analysen zu visualisieren.

Der im Projekt bearbeitete Datensatz bietet die Möglichkeit für beide Aufbereitungen. Für eine echte interaktive, also auch eher kommunikationsorientierte Darstellung müssten Kommunen jedoch erst ein entsprechendes Framework entwickeln. Hier gehen die Anbieter mittlerweile neue

Wege. Es werden maßgeschneiderte Auswertepattformen mit Webzugang angeboten, die die Analyse der städtischen Daten außerhalb der eigenen IT-Verantwortung ermöglichen. Dieses Vorgehen ist unbedingt zu unterstützen, jedoch ist Vorsicht bei der Verantwortung für Datenschutz und Datensicherheit geboten.

Zusammen mit der Pilotkommune Dresden wurde der Weg gewählt, die aufbereiteten Daten für Verkehrsmengen in den Online-Themenstadtplan zu integrieren (vgl. Abbildung 66). Da dieser auf dem Straßenknotennetz der städtischen Verwaltung basiert, ist es wichtig, dieses Netz auch als Netzgrundlage der GPS-Daten zu wählen. Eine einfache Transformation von Daten aus anderen Netzgraphen ist nicht möglich. In der Zusammenarbeit mit der Pilotkommune zeigte sich auch, dass großer Wert auf die Kontinuität des Datenangebotes gelegt wird. Einmalige Datenkäufe, ohne eine weitere Aktualisierung, sind hier dringend zu vermeiden. Die schlussendliche Implementierung in das städtische System ist via eindeutiger Schlüssel für die Netzkanten und Knoten derweil trivial lösbar.

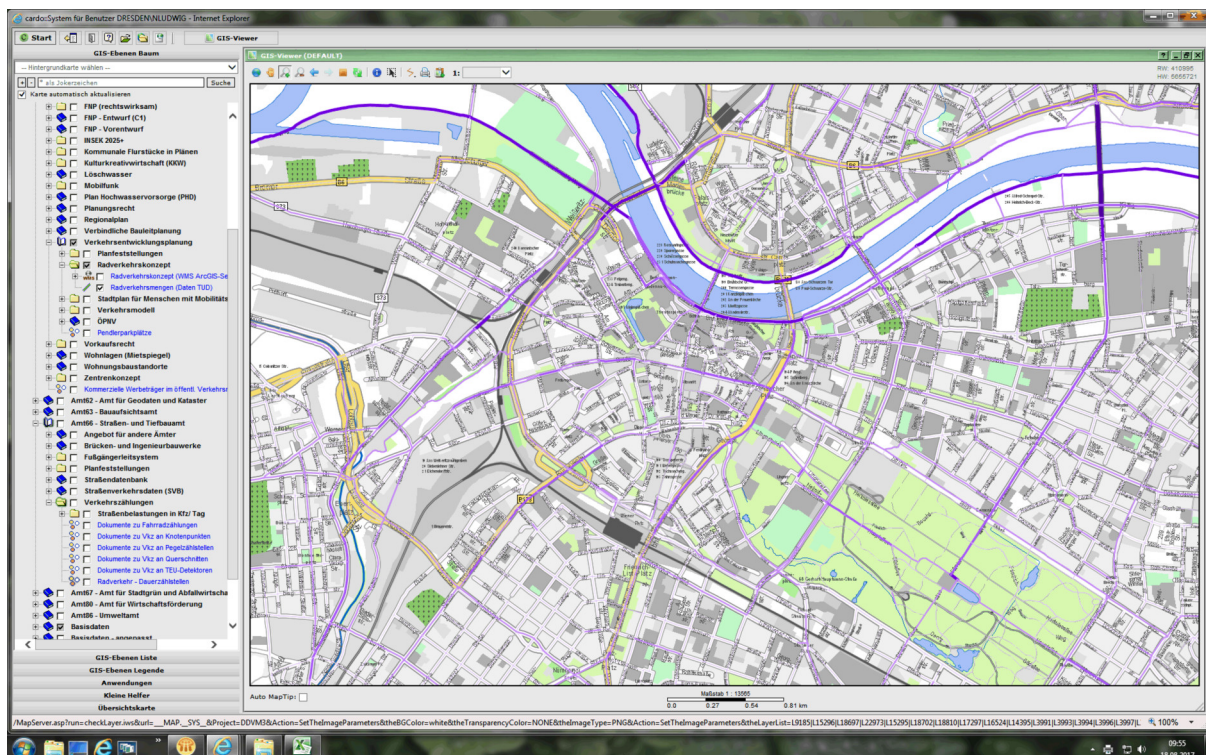


Abbildung 66: Mögliche Visualisierung im städtischen System der Pilotkommune CARDO

Für eine städtische Darstellung ist es außerdem wichtig, dass Dopplungen sinnvoll eliminiert werden und auch in hoher Detailstufe ein konsistentes Netzabbild vorliegt. Hier hat der Datensatz von Strava noch deutliches Verbesserungspotential, wenngleich die Problemstellung durch die wenigen parallelen Kanten für die Pilotkommune sich als nicht gravierend herausstellte.

10. Erstellung eines Anwendungsleitfadens „Smartphonebasierte Verkehrsverhaltensdaten in der Radverkehrsplanung“

Die Erstellung des Anwendungsleitfadens stützt sich auf drei wesentliche Säulen. Diese sind

- 1. Die Datenanalyse und der Vergleich mit der Empirie,*
- 2. Die Befragung aller Radverkehrsbeauftragten der Bundesrepublik,*
- 3. Die Ergebnisse von der Arbeit in Expertenworkshops.*

So soll neben der wissenschaftlichen Überprüfung der Datenqualität vor allem auf die Bedürfnisse der späteren Nutzerinnen und Nutzer eingegangen werden. Dabei wurden in der Onlinebefragung der Radverkehrsverantwortlichen deutscher Städte wichtige Punkte eruiert (vgl. Kapitel 5.5), welche anschließend als Grundlage für die Expertengespräche dienten. Diese wurden im Rahmen des zweiten Expertenworkshops mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Planungspraxis und kommunaler Verwaltung geführt und hatten zum Ziel, die Struktur sowie die wesentlichen Inhalte des zu entwickelnden Leitfadens vorab zu klären.

Dabei bestätigte sich, dass zunächst grundlegende Daten und Erkenntnisse zum Thema zusammengefasst und aufbereitet werden müssen. Der Leitfaden kann und muss eher ein Einstieg in das komplexe Thema sein, als eine Anleitung zur Arbeit mit Rohdaten und deren Validierung.

10.1 *Ergebnisse des 2. Expertenworkshops*

Teilnehmende:

- Thilo Becker (*TUD Professur für Verkehrsökologie*)
- Angela Francke (*TUD Professur Verkehrspsychologie*)
- Michael Haase (*ISUP Dresden GmbH*)
- Prof. Dr. Carmen Hagemeister (*TUD Professur Diagnostik und Intervention*)
- Andreas Stückl (*Bike Citizens*)
- Konrad Krause (*ADFC Sachsen*)
- Maria Hanke (*SB Verkehrsdatenerfassung/-statistik Stadt Dresden*)
- Udo Fröhlich (*Stadt Chemnitz Radverkehrsbeauftragter*)
- Dr. habil. Tibor Petzoldt (*TU Dresden/ TU Chemnitz*)
- Sven Lißner (*TUD Professur für Verkehrsökologie*)
- Beate Weißker (*Stadt Dresden Amt für Geodaten und Kataster*)
- Nora Ludwig (*Radverkehrsbeauftragte der Landeshauptstadt Dresden*)
- Jan Rickmeyer (*Radverkehrsbeauftragter der Stadt Leipzig*)
- Franz Däumer (*ADFC Sachsen*)
- Regine Jansen (*Stadt Bonn*)
- Matthias Müller (*TUD Professur für Geoinformatik*)
- Thomas Böhmer (*Team Red*)

Am 09.11.2016 fand das zweite Treffen des Forschungsbeirats statt. Unter den Teilnehmern waren u.a. die Radverkehrsbeauftragten der Städte Dresden und Leipzig, Vertreter des ADFC Sachsen sowie einige namenhafte Forscherinnen und Forscher der TU Dresden, u.a. aus den Fachbieten Psychologie und Geografie. Zur Einstimmung wurden zuerst Fragen an die Anwesenden gestellt, die diese je nach Erfahrung und Hintergrund beantworteten:

1. Frage: Gibt es überraschende / neue Erkenntnisse aus den Daten, die vorher noch nicht bekannt waren?
2. Frage: Welche Nutzertypen sollten wie berücksichtigt werden? Welche Eigenschaften haben die Nutzertypen?
3. Frage: Welche Faktoren müssen noch erhoben werden?
4. Frage: GPS-Daten von Strava sind in Alters-/Geschlechtsstruktur nicht repräsentativ – ist das schlimm, wenn eh nicht für Gruppen geplant wird?

5. Allgemeine Erwartungen an das Projekt

Generell wird eine Verbesserung der Datenlage erwartet. Der Begriff „gläserner Radfahrender“ beschreibt das Konzept treffend; hierbei ist auch die Integration verschiedener Daten aus unterschiedlichen Quellen (u.a. demographische Informationen) gewünscht. Außerdem ist die Routennutzung von Radfahrerinnen und Radfahrern für alle Stakeholder interessant. Wie sind die Oberflächen bzw. das Radfahrverhalten?

Im zweiten Block wurden die Teilnehmenden durch Vorträge zum aktuellen Stand des Projekts sowie der Auswertung der Kommunalbefragung und des Strava-Fragebogens über den neusten Stand des Projektes informiert. Die Vorträge umfassten zum einen aktuelle Projektergebnisse und den Zwischenstand der Datenprüfung. Zum anderen konnten die ersten Auswertungen der Kommunalbefragung der Radverkehrsbeauftragten zur GPS-Datennutzung und zum Stand der Radverkehrsplanung sowie die Ergebnisse der Befragung der Strava-Nutzenden präsentiert werden (siehe 5.5 und 7.7). Im Podium wurde abgefragt, welche Planungskriterien in der Praxis relevant sind und für welche Radfahrenden genau geplant wird. Es wurde deutlich, dass eine Planung für einzelne Nutzergruppen – wenn überhaupt – nur in der Zielnetzplanung stattfindet. Die konkrete Angebotsplanung ist hingegen sehr von den Gegebenheiten vor Ort abhängig.

Im dritten Teil des Treffens brachten die Anwesenden anschließend ihre Expertise und Gedanken in Diskussionsrunden zu Nutzertypen im Radverkehr sowie zur Erstellung des Leitfadens für Kommunen ein. Dabei wurde diskutiert, welche Planungskriterien in der Praxis relevant sind und für welche Nutzergruppen momentan geplant wird. Zur Diskussion der Erwartungen an den Leitfaden wurden zwei Gruppen gebildet: Die Gruppe Planung/Kommunen setzte sich vorwiegend aus Fachplanern und kommunalen Vertretern, wie Michael Haase, Thomas Böhmer und Jan Rickmeyer, zusammen. Die Gruppe Forschung/Verbände bestand aus Vertretern des ADFC, der TU Dresden und Andreas Stückl von den BikeCitizens. Die Gruppen

wurden moderiert und diskutierten intensiv die Gliederung und die Inhalte des Leitfadens aus den verschiedenen Perspektiven.

Die Ergebnisdiskussionen gingen dabei jedoch unerwartet in die gleiche Richtung: Es ist zum jetzigen Zeitpunkt sinnvoller, wenn man den Kommunen ein Werkzeug an die Hand gibt, das ihnen folgendes erklärt:

- Was gibt es für GPS Daten?
- Was können welche Daten leisten?
- Worauf muss man achten?
- Für welche Zwecke kann man die Daten verwenden?
- Wie interpretiere ich die Daten richtig?
- Was gibt es für Arten von Daten (Geschwindigkeiten, Verkehrsmengen etc.)? Welche Anforderungen haben diese und welche Beispiele und Probleme gibt es damit?
- Wie kann eine technische Umsetzung erfolgen?
- Was muss ich bei einer Vergabe beachten, kann ich den Leitfaden als Lastenheft verwenden?

10.2 *Überarbeitete Gliederung des Leitfadens*

Die zusätzlich unter den Radverkehrsbeauftragten der Städte und Gemeinden durchgeführte Onlinebefragung sowie die Expertenworkshops mit kommunalen Vertreterinnen und Vertretern haben eine Verschiebung des inhaltlichen Fokus' des Leitfadens erforderlich gemacht. Ursprünglich war von einem Ansatz ausgegangen worden, der die Kommunen durch den Leitfaden in die Lage versetzt, komplett die Daten bearbeiten und auswerten zu können (vgl. Abbildung 67). Innerhalb der Kommunikation mit den Vertretern der Städte und Fachleuten aus Planung und Forschung wurde deutlich, dass ein deutlich niederschwelligerer Ansatz als der ursprünglich vorgesehene gewählt werden muss. Der Schwerpunkt des Leitfadens wird anders als im Antrag geplant zudem nicht auf der automatisierten Datenauswertung liegen, sondern vielmehr grundlegende Punkte bezüglich des Aufbaus und der Verwendung von GPS-Massendaten in der Radverkehrsplanung

beinhalten. Die Kommunen wünschen sich größtenteils, dass sie mit Herausgabe eines Anforderungsprofils und ihrer GIS-Karte, von einem Anbieter bzw. Dritten, die Datenauswertung entsprechend ihrer Wünsche angefertigt bekommen (vgl. Abbildung 68). Im Gespräch mit dem BMVI als Fördermittelgeber am 17.01.17 wurde diese Verschiebung des inhaltlichen Schwerpunktes des Leitfadens bestätigt.

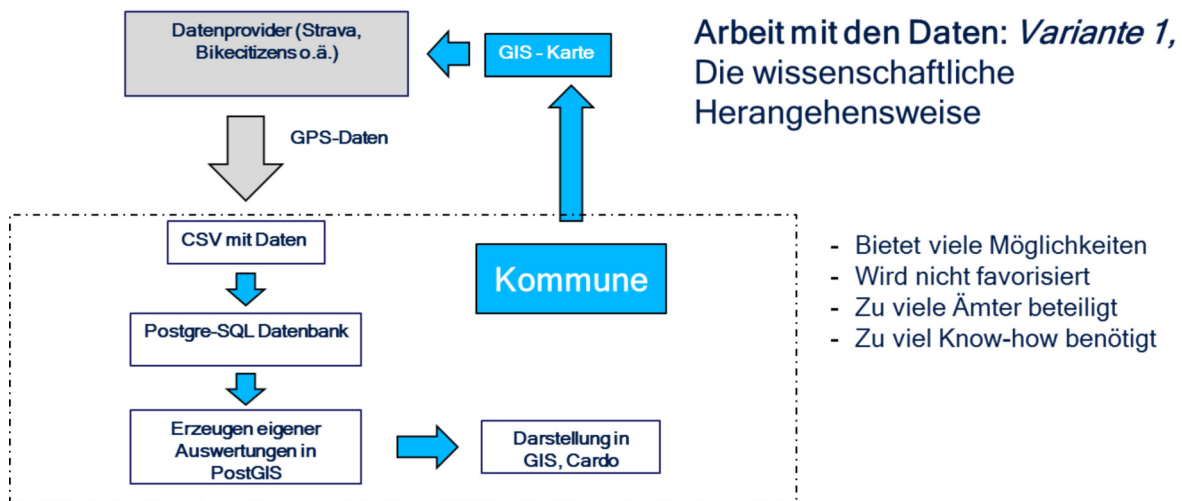


Abbildung 67: Ursprüngliche Annahme bei Projektstart mit der Kommune als datenauswertende Institution

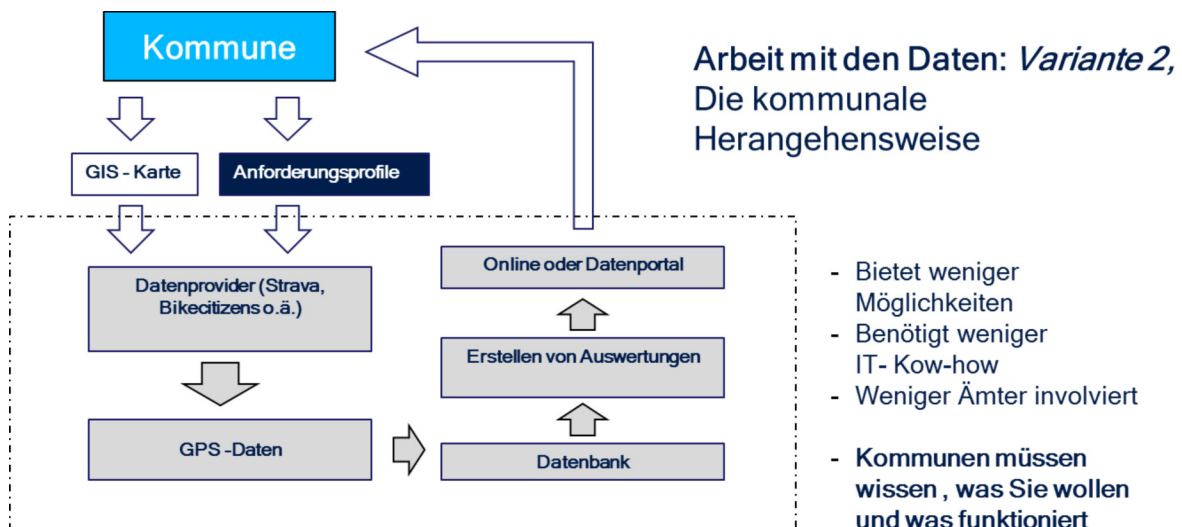


Abbildung 68: Überarbeitete Herangehensweise mit der Kommune als Auftraggeber

Der Leitfaden ist so aufgebaut, dass die Kapitelübersicht über einen Farb-Code zur besseren Orientierung im Dokument verfügt. Die Kapitelüberschriften sind dann ebenfalls mit dem Farb-Code versehen. Jedes Kapitel startet mit einer Kurzzusammenfassung als Kapiteleinstieg. Die Seiten sind so aufgebaut, dass in

einer Randspalte (Farb-Code) mit Stichworten und Abschnittsüberschriften ein guter Überblick über den Inhalt des Textes gegeben wird und so der Lesende gut geführt wird bzw. dieser sich gut im Dokument orientieren kann. Jedes Kapitel endet mit einem Kurzüberblick. Dieser fasst die wichtigsten Implikationen für die praktische Arbeit aus dem Kapitel auf einen Blick zusammen, z.B.: Grundwissen, Arbeitsschritte bzw. eine Checkliste. Zur besseren Lesbarkeit werden zahlreiche Abbildungen und Graphiken im Fließtext mit Untertitel eingefügt sowie Inhalte in Tabellen mit Untertitel für Kurzübersichten / Gegenüberstellungen aufgearbeitet. Ein weiterer Baustein zur Leserführung sind Boxen, die häufig gestellte Fragen zum Kapitelthema mit Antworten, Belegen und Querverweisen thematisieren. Naheliegende Fragen können hier explizit beantwortet werden, der Leser wird bei Unsicherheit abgeholt und er erhält zudem eine politische Argumentationshilfe.

Die Hauptgliederungspunkte sind die folgenden:

- Einstieg in das Thema
- Was sind GPS-Daten?
- Planungszwecke
- Anwendungsbeispiel
- Interpretation
- Anhang (mit Glossar, Detailwissen und FAQ-Teil)

Ergänzend zum vorliegenden Leitfaden in deutscher Sprache wurde eine Version in Englisch veröffentlicht sowie ein Lehrfilm produziert, der die Essenz der Leitfäden in ca. 15 Minuten zusammenfasst und auf Bildungsportalen ([LINK](#)) abrufbar ist.

11. Fazit und Ausblick

Nach intensiver Datenarbeit und interessantem Austausch mit Kommunalen Aufgabenträgerinnen und -trägern, Wissenschaft und Datenprovidern entstand im Projekt ein deutlich besseres Bild dessen, was GPS-Daten im Allgemeinen und jene von Radfahrenden im Speziellen für die nahe und mittelfristige Zukunft der Verkehrsplanung bedeuten können. Interessant war hierbei vor allem das

Spannungsfeld zwischen einem großen, jedoch aggregierten Datenumfang, und einer weitgehend unbekannten Zusammensetzung der Stichprobe. Die Analyse des bestehenden Datensatzes der Firma Strava lieferte vielschichtige Ergebnisse. Zum einen wurde auf Basis der gesammelten Erfahrungen mit den Daten ein Leitfaden für den Einstieg in die Datenarbeit für Kommunen erarbeitet und veröffentlicht. Dies wurde nötig, da das Thema zwar in der Wissenschaft aktuell sehr präsent ist, aber in den kommunalen Verwaltungen erst vorsichtig angedacht wird. Hier muss zuerst einiges an Bildungs- und Überzeugungsarbeit geleistet werden, um eine Datennutzung überhaupt zu motivieren.

Dies führt zum zweiten wesentlichen Ergebnis der vorliegenden Arbeit. Die vorhandenen Angebote sind zwar ein erster Einstieg in das Thema, haben jedoch hinsichtlich ihrer Qualität und Darstellung noch nicht das in Deutschland für ein akzeptiertes Planungswerkzeug nötige Niveau. Hier kann und wird in naher Zukunft noch Entwicklungsarbeit durch Wissenschaft und Wirtschaft geleistet werden.

Hierbei sind vor allem zwei Forschungsfelder hervorzuheben:

- Eine Typologisierung der Radfahrenden anhand ihrer realisierten Verkehrsverhalten im Sinne einer repräsentativen Stichprobe.

Dies ist notwendig um mehr Fachwissen über das Verkehrsverhalten einzelner Nutzergruppen zu erhalten, da in Big-Data Ansätzen aus Datenschutzgründen für Nutzende maximal aggregierte Datensätze mit ihrer zugehörigen Nutzerzusammensetzung veröffentlicht werden können. Mit Kenntnis der Verhaltensmuster dieser Nutzergruppen kann anhand von Zählungen beispielsweise eine Kalibrierung von Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten oder Hochrechnungen erfolgen, wenn die Stichprobe der Nutzer nicht repräsentativ ist. Das Projekt RadVers – *„Mit Smartphones generierte Verhaltensdaten im Verkehr – Differenzierung des Nutzerverhaltens unterschiedlicher RadfahrerInnengruppen“*, welches im Zuge des NRVP 2020 gefördert wird, behandelt diese Thematik beginnend 09/2017 bis zum Sommer des Jahres 2019. Das zweite notwendige Forschungsfeld knüpft an die eben genannte Problematik an:

- Es ist zwingend sinnvoll eine möglichst repräsentative Stichprobe mit großem Umfang zu erstellen.

Mit dieser Problemstellung befasst sich das vom BMVI im Rahmen der Förderrichtlinie mFUND geförderte Projekt „MOVEBIS“. Hierbei ist die Erhebung und Aufbereitung möglichst alltagslastiger Radfahrten im Zuge der jährlich stattfindenden Aktion STADTRADELN vorgesehen. Bis 2020 werden dabei in mehreren Stufen neue Verfahren für die Aufbereitung und Visualisierung von Radverkehrsdaten entwickelt und erprobt. Zusätzlich werden unterschiedliche Strategien in der Zusammenarbeit mit den beteiligten Kommunen untersucht.

Des Weiteren entwickeln die Datenanbieter kontinuierlich ihre Geschäftsmodelle und Angebote weiter, um den Ansprüchen der Kommunen möglichst gerecht zu werden. Auch hier konnte im Zuge der Leitfadenentwicklung und durch die enge Zusammenarbeit mit Anbietern von Bewegungsdaten im Rahmen des Projektes wechselseitig wichtiger Input geliefert werden.

In den kommenden Jahren ist ob der zunehmenden nationalen und internationalen Forschungstätigkeit sowie des ungebremsen Trends zur Smartphone-Nutzung weltweit mit sprunghaften Entwicklungen in diesem Themengebiet zu rechnen. So werden sich unterschiedliche Forschungsansätze, wie beispielsweise Verkehrsträgererkennung, Modellierung und auch die klassische Verkehrsplanung, in diesem Themenfeld wiederfinden und auch ergänzen mit dem Ziel, das vorhandene Datenangebot möglichst zielführend zu nutzen und den Entscheidern und den umsetzenden Stellen ein möglichst niedrighschwellige Anwendung zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- Ahrens, G.-A. (April 2015). *Sonderauswertung "Mobilität in Städten SrV 2013"*.
Abgerufen am 30. 05 2017 von https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/SrV2013_Stadtgruppe_GrosseSrV-Vergleichsstaedte.pdf?lang=de
- Alrutz, D., Bohle, W., Maier, R., Enke, M., & Pohle, M. (2015). *Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen*. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Bauer, M. (2011). *Vermessung und Ortung mit Satelliten. Globales Navigationssatellitensystem (GNSS) und andere Satellitengestützte Navigationssysteme*. Berlin: Wichmann.
- BMW AG; DLR; DB Rent GmbH. (2016). *Erneuerbar Mobil*. Abgerufen am 10. 04 2018 von https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2016-10/Abschlussbericht_WiMobil.pdf
- Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (14. 07 2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference Data. *Transportation Research Part A*, S. 1730-1740.
- Buck, O., & Fischer, M. (2010/2011). Einsatz kombinierter RFID/GPS Technologien im Tourismus. *Software - Daten - Firmen*, 27-32.
- Charlton, B., Sall, E., Schwartz, M., & Hood, J. (2011). Bicycle Route Choice Data Collection using GPS-Enabled Smartphones. *Transportation Research Board Annual Meeting*, (S. 10).
- Falkenberg, G., Blase, A., Bonfranchi, T., Cosse, L., Draeger, W., Vortisch, P., et al. (-. - 2003). Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Verkehrstechnik*, 103(103), S. 34.

- Falkenberg, G., Blase, A., Bonfranchi, T., Draeger, W., Vortisch, P., Kautzsch, L., et al. (2003). *Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten*. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).
- FGSV. (2012). *Empfehlungen für Verkehrserhebungen*. Köln: FGSV Verlag.
- FGSV. (2015). *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*. Köln: FGSV.
- Gray, P. B., McHale, T. S., & Carré, J. M. (19th. July 2016). A review of human male field studies of hormones and behavioral reproductive effort. *Hormones and Behavior*, S. 52-67.
- Haase, M. (20. 03 2013). *Radverkehrskonzept der Stadt Chemnitz*. Abgerufen am 30. 05 2017 von http://www.chemnitz.de/chemnitz/media/download/stadt_chemnitz/verkehr/radverkehrskonzeption.pdf
- Howe, E., Graff, A., & Damrau, L. (2016). *Radspurenleser: Abschlussbericht*. Berlin.
- Juliane, G. (2015). *Untersuchung des Verhaltens von Radfahrenden an Lichtsignalanlagen - Einflussfaktoren auf die Einhaltung der StVO*. TU Dresden, Professur für Verkehrsökologie. Dresden: nicht veröffentlicht.
- Kopp, P.-J. (2015). *GPS-gestützte Evaluation des Mobilitätsverhaltens von free-floating CarSharing Nutzern*. Zürich: ETH Zürich, Dissertation.
- Krizek, K., & Harvey, F. (2007). *Commuter Bicyclist Behavior and Facility Disruption*. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Mannsfeld, W. (2009). *Satellitenortung und Navigation. Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Romanillos, G., Zaltz-Austwick, M., Ettema, D., & De Kruijf, J. (2016). Big Data and Cycling. *Transport Reviews*, 36:1, S. 114-133.

- Sabath, K. (2015). *Vergleichbarkeit von smartphonegenerierten, relativen Verkehrsstärkedaten beim Radverkehr mit klassischen Verkehrserhebungsinstrumenten*. TU Dresden, Professur für Verkehrsökologie. Dresden: nicht veröffentlicht.
- Schelewsky, M., Jonuschat, H., Bock, B., & Stephan, K. (2014). *Smartphones unterstützen die Mobilitätsforschung - Neue Einblicke in das Mobilitätsverhalten durch Wege-Tracking*. Berlin: Springer Vieweg.
- Schiller, C., Zimmermann, F., & Bohle, W. (2011). *Hochrechnungsmodell von Stichprobenzählungen für den Radverkehr*. Dresden.
- Schnabel, W., & Lohse, D. (1997). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung* (2. Auflage Ausg., Bd. 2). Berlin: Verlag für Bauwesen.
- Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2008). Identifying trips and activities and their characteristics from GPS raw data without further information. *Conference Paper ETH Zürich Research Collection*, (S. 29). Zürich.
- Statistisches Landesamt Sachsen. (2016). *Bevölkerung des Freistaates Sachsen*. Abgerufen am 30. 05 2017 von www.statistik.sachsen.de:
https://www.statistik.sachsen.de/download/010_GB-Bev/Bev_Z_Gemeinde_akt.pdf
- Strava LLC. (2016). *Strava Metro: Commutes 2016*. San Francisco, USA.
- Zhang, & Xinyu. (2016). *Fahrgeschwindigkeiten des Radverkehrs auf der freien Strecke - Bestimmung von Einflussgrößen am Beispiel von Dresden*. TU Dresden, Professur für Verkehrsökologie. Dresden: nicht veröffentlicht.